

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง

Behaviour of Some Heavy Metals in Bangpakong

River Estuary

สุวรรณภา ภาณุตระกูล ฉลวย มุสิกะ และ ไพฑูรย์ มกกงไผ่

Suwanna Panutrakul, Chaluy Musika and Phaithoon Mokkongpai

22 ส.ค. 2552
249007

เริ่มบริการ
23 ส.ค. 2552

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา

ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2543

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

สิงหาคม 2544

ISBN 974-546-885-1

พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดในแม่น้ำบางปะกง

บทคัดย่อ

การศึกษาพฤติกรรมของโลหะ Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn ในแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้ง (มีนาคม 2543) และฤดูฝน (กรกฎาคม 2543) พบว่าทั้งสองฤดูโลหะทุกตัวมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ โดยมีค่า K_D ของโลหะที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีลำดับดังนี้ $Fe > Mn > Pb > Zn > Ni > Cu > Cd$ ในฤดูแล้ง และ $Fe > Mn > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd$ ในฤดูฝน พฤติกรรมการแพร่กระจายของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกงถูกควบคุมโดยการชะล้างโลหะจากแผ่นดิน ลักษณะทางอุทกวิทยา ปริมาณน้ำท่า การขึ้นลงของน้ำทะเล และการตกตะกอนร่วมของโลหะอื่นๆกับ Fe-Mn-Oxides และ Fe-Mn-Carbonate อย่างไรก็ตามขบวนการทางชีวภาพก็มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของแคดเมียม ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบได้ในการศึกษาครั้งนี้ยังอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ของไทย แต่มีแนวโน้มที่มีการปนเปื้อนในระดับที่สูงขึ้นของโลหะ Cd, Cu, Ni, Pb และ Zn จากเดิมที่เคยมีการศึกษามา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตะกอนแขวนลอยที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่มากบริเวณปากแม่น้ำ มากกว่า 70 % โลหะหนักทุกตัวที่ทำการศึกษาในครั้งนี้อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยยกเว้นแคดเมียม ซึ่งมีค่าประมาณ 40 % ดังนั้นรูปแบบที่สำคัญของโลหะที่มีการขนถ่ายจากแม่น้ำบางปะกงออกสู่อ่าวไทยจึงอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย

Behaviour of some heavy metals in the Bangpakong estuary

Abstract

Behaviour of Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe and Mn was studied in the dry (March 2000) and wet (July 2000) seasons. All of the heavy metals showed non-conservative behaviour in both seasons. The distribution coefficient (K_d) followed Fe > Mn > Pb > Zn > Ni > Cu > Cd sequence in the dry season and Fe > Mn > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd in the wet season. Terrestrial erosion, the river hydrodynamic (Discharge, tidal action and water residence time) co-precipitation of heavy metals with Fe-Mn-Oxides and Fe-Mn-Carbonate were the major processes controlling behaviour of heavy metals in the river. However, biological processes played an important role on behaviour of Cd. The present contamination levels were higher than previous studies especially Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in suspended solid at the river mouth. This may cause by industrial activities, which are rather high around the river mouth. The concentration of all the studied heavy metals were still lower than the water quality criteria and standard in Thailand (surface water type 3). More than 70 % of all the studies metals presented in particulate form except Cd which presented only 40 % in particulate form. Therefore the major part of heavy metals from the Bangpakong river transported to the Gulf of Thailand were in particulate form.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ	ณ
สารบัญตาราง	ช
กิตติกรรมประกาศ	ญ
1. บทที่ 1 บทนำ	1
2. บทที่ 2 การดำเนินการศึกษา	4
2.1. สถานที่เก็บตัวอย่าง	4
2.2. การเก็บตัวอย่างน้ำและตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม	6
2.3. การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	7
2.3.1. ธาตุอาหารปริมาณน้อย	7
2.3.2. ปริมาณตะกอนแขวนลอย	8
2.3.3. สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย	8
2.4. โลหะหนัก	8
2.4.1. การเตรียมตัวอย่าง	8
2.4.2. การควบคุมคุณภาพโลหะหนักในน้ำ	9
2.4.3. การควบคุมคุณภาพโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย	10
3. บทที่ 3. ผลการศึกษา	12
3.1. คุณภาพน้ำโดยทั่วไป	12
3.1.1. อุณหภูมิ	12
3.1.2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	12
3.1.3. ความเป็นกรด-ด่าง	12
3.1.4. ความเค็ม	13
3.1.5. ค่าความนำไฟฟ้า	15
3.2. ปริมาณตะกอนแขวนลอย	15
3.3. สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย	16
3.4. ธาตุอาหารปริมาณน้อย	17
3.4.1. แอมโมเนีย	17
3.4.2. ไนไตรท์	19

	3.4.3. ไนเตรท	19
	3.4.4. ฟอสเฟต	19
	3.4.5. ซิลิเกต	20
	3.5. โลหะหนัก	21
	3.5.1. แคดเมียม	21
	3.5.2. ทองแดง	22
	3.5.3. เหล็ก	24
	3.5.4. แมงกานีส	25
	3.5.5. นิกเกิล	26
	3.5.6. ตะกั่ว	27
	3.5.7. สังกะสี	28
	3.6. พฤติกรรมของธาตุอาหารปริมาณน้อยและโลหะหนัก โดยใช้ความเค็มเป็นดัชนีบ่งชี้	29
	3.7. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	36
	3.8. สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโลหะหนัก	39
4	บทที่ 4. อภิปรายผล	43
	4.1. คุณภาพน้ำโดยทั่วไป	43
	4.1.1. อุณหภูมิ	43
	4.1.2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	43
	4.1.3. ความเป็นกรด-ด่าง	44
	4.1.4. ความเค็มและการนำไฟฟ้า	45
	4.1.5. ปริมาณตะกอนแขวนลอย	45
	4.2. สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย	45
	4.3. ธาตุอาหารปริมาณน้อย	46
	4.3.1. ธาตุอาหารปริมาณน้อยในกลุ่มไนโตรเจน	46
	4.3.2. ฟอสเฟต	47
	4.3.3. ซิลิเกต	47
	4.4. ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง	48
	4.5. พฤติกรรมและการแพร่กระจายของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง	49
	4.5.1. แคดเมียม	49
	4.5.2. ทองแดง	50
	4.5.3. เหล็ก	50

	4.5.4. แมงกานีส	51
	4.5.5. นิกเกิล	52
	4.5.6. ตะกั่ว	53
	4.5.7. สังกะสี	53
5	สรุปผลการศึกษา	54
6	เอกสารอ้างอิง	55

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1.1. แสดงสถานีสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 8 สถานีในแม่น้ำบางปะกง	5
3.1. แสดงคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดจากสถานีต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	14
3.2. แสดงปริมาณสารอินทรีย์ตามระยะทางจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในหน่วย mg l^{-1} และ mg g^{-1} ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	16
3.3. แสดงความเข้มข้นของธาตุอาหารปริมาณน้อยจากบริเวณต้นน้ำ ถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	18
3.4. แสดงความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากบริเวณ ต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	21
3.5. แสดงความเข้มข้นของทองแดงในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากบริเวณ ต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	22
3.6. แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากบริเวณ ต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	24
3.7. แสดงความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากบริเวณ ต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	25
3.8. แสดงความเข้มข้นของนิเกิลในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากบริเวณ ต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	26
3.9. แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากบริเวณ ต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	27
3.10. แสดงความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากบริเวณ ต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	28
3.11. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารปริมาณน้อยและความเค็ม ในฤดูแล้งและการทดสอบ Curve fit	31
3.12. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลหะ Cd, Cu และ Fe ในน้ำและตะกอน แขวนลอยและความเค็มในฤดูแล้งและการทดสอบ Curve fit	33
3.13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลหะ Mn ในน้ำและตะกอน แขวนลอยและความเค็มในฤดูแล้งและการทดสอบ Curve fit	34
3.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลหะ Ni, Pb และ Zn ในน้ำและตะกอน แขวนลอยและความเค็มในฤดูแล้งและการทดสอบ Curve fit	35

- 3.15. แสดงค่า $\text{Log}_{10}K_D$ ของ โลหะที่ทำการศึกษาตามระยะทางจากต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้ง 41
- 3.16. แสดงค่า $\text{Log}_{10}K_D$ ของ โลหะที่ทำการศึกษาตามระยะทางจากต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูฝน 41

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. แสดงจุดพิกัดพื้นที่ของสถานีสำรวจและเก็บตัวอย่างในเอสทูรีของแม่น้ำบางปะกง	4
2.2. รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ	6
2.3. วิธีการในการวิเคราะห์ธาตุอาหารปริมาณน้อยและค่าDetection Limit	7
2.4. ค่าDetection Limitของการตรวจวัดโลหะหนักในน้ำ	10
2.5. ผลการทดสอบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก Reference material SLEW-3 และ CASS-4	10
2.6. %Recovery ของโลหะหนักจากการทำ Standard addition	11
2.7. % Recovery ของโลหะหนักใน Marine Sediment Reference Material (MESS-2)	11
3.1. ค่าเฉลี่ยและพิสัยของคุณภาพน้ำโดยทั่วไปในแม่น้ำบางปะกงใน ฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)	13
3.2. แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง	13
3.3. ค่าเฉลี่ยและพิสัยของธาตุอาหารปริมาณน้อย ตะกอนแขวนลอย และสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอยแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้งและฤดูฝน	17
3.4. แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอย สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอยและธาตุอาหารปริมาณน้อย	20
3.5. ค่าเฉลี่ยและพิสัยของปริมาณโลหะหนักในรูปของสารละลายในแม่น้ำบางปะกงใน ฤดูแล้งและฤดูฝน	23
3.6. ค่าเฉลี่ยและพิสัยของปริมาณโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำบางปะกงใน ฤดูแล้งและฤดูฝน	23
3.7. แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยสารละลายโลหะหนัก	29
3.8. แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยโลหะหนัก ในตะกอนแขวนลอย	29
3.9. แสดงผลการวิเคราะห์ Curve fit ของธาตุอาหารปริมาณน้อยกับความเค็มในฤดูแล้ง	32
3.10. แสดงผลการวิเคราะห์ Curve fit ของสารละลายโลหะหนักกับความเค็มในฤดูแล้ง	32
3.11. แสดงผลการวิเคราะห์ Curve fit ของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยกับความเค็ม ในฤดูแล้ง	32
3.12. แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างคุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในฤดูแล้ง	37
3.13. แสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างคุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักในฤดูฝน	38

- | | |
|---|----|
| 3.14. ค่าเฉลี่ยและพิสัยของค่า K_D ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543) | 40 |
| 3.15. แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า K_D | 42 |

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่พิจารณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ คณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิคณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย

การทำวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนอย่างดีจากภาควิชาวาริชศาสตร์ ผู้วิจัยขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชาวาริชศาสตร์ ผศ. ดร. คเชนทร เฉลิมวัฒน์ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. พิชัย สนแจ้ง ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเล เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่จำเป็นชนิดต่างๆ ในการวิจัย

ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก จากเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวาริชศาสตร์ คุณประสาร อินทเจริญ คุณรัตนาพร วิภาตะกัลป์ และคุณวันชัย วงศ์สุดาวรรณ เจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเล ทำให้การวิจัยดำเนินไปได้อย่างราบรื่น ผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปากแม่น้ำของแม่น้ำสายต่างๆเป็นบริเวณที่น้ำจืดจากแผ่นดินไหลลงมารวมกับน้ำที่มีความเค็มจากทะเล โดยปกติแล้วการไหลเวียนของน้ำในบริเวณปากแม่น้ำจะถูกควบคุมโดยปริมาณน้ำท่า (Fresh water discharge) กระแสน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal current) และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของปากแม่น้ำ (Geomorphology) การไหลเวียนของน้ำในบริเวณนี้จึงมีความสลับซับซ้อนมาก ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจะแปรเปลี่ยนไปในรอบวัน ส่วนปริมาณน้ำท่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ดังนั้นการไหลเวียนของน้ำในบริเวณปากแม่น้ำจึงเปลี่ยนแปลงไปในรอบวันและตามฤดูกาลเช่นเดียวกัน (Day et al., 1989)

การผสมผสานกันของมวลน้ำจืดจากแผ่นดิน และน้ำเค็มจากทะเล ทำให้ความเค็มของน้ำค่อยๆเพิ่มขึ้นตามลำดับจากบริเวณต้นน้ำจนมีความเค็มสูงเมื่อเข้าสู่ทะเล (Salinity gradient) และเนื่องจากน้ำทะเลมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจืด จึงมักเกิดการแบ่งชั้นของน้ำโดยน้ำทะเลที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะจมตัวอยู่ใต้ชั้นน้ำจืดที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า (Day et al., 1989) การผสมผสานกันของมวลน้ำจืดและน้ำเค็มจากทะเลเป็นอิทธิพลทางกายภาพที่มีผลอย่างมากต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำ และพฤติกรรมของสารละลายและแร่ธาตุต่างๆในบริเวณปากแม่น้ำ นอกจากนี้ขบวนการชีวภาพและธรณีเคมี มีผลในการควบคุมและรักษาสมดุลขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำ และพฤติกรรมของสารละลายและแร่ธาตุต่างๆ ในบริเวณปากแม่น้ำอย่างมาก

โดยปกติแล้วเราจะพบว่าสารละลายและแร่ธาตุต่างๆในบริเวณปากแม่น้ำ มีพฤติกรรมได้ทั้งแบบอนุรักษ์ (Conservative) และแบบไม่อนุรักษ์ (Non-conservative) โดยสารที่มีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์มีความแปรปรวนไปอันเนื่องมาจากการการผสมผสานกันของมวลน้ำจืดและน้ำเค็ม หรือมีเพียงขบวนการทางกายภาพเท่านั้นที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสารละลายและแร่ธาตุนั้นๆเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าขบวนการอื่นๆเช่นขบวนการชีวภาพ และธรณีเคมี มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมันก็จะถือว่ามันมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ ดังนั้น อุทกวิทยา (Hydrodynamic) ของปากแม่น้ำ รวมถึงขบวนการ ชีวภาพ และธรณีเคมี จึงมีผลอย่างมากต่อพฤติกรรมของสาร การเคลื่อนย้ายของมวลสาร และแร่ธาตุต่างๆจากแผ่นดินลงสู่ทะเลผ่านทางปากแม่น้ำ (Run off) (Martin et al., 1971; Wollast & Duinker, 1982; Salomons and Forstner, 1984)

โลหะหนัก (Heavy metals) เป็นกลุ่มของสารมลพิษที่มีลักษณะพิเศษ เนื่องจากมันสามารถเปลี่ยนรูปแบบ (Speciation) จากรูปของประจุละลายน้ำ (Dissolved ionic forms) ไปเป็นสารละลาย

เชิงซ้อน (Complex molecules) หรือเกิดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ (Colloid) และตกตะกอนลงสะสมรวมอยู่กับตะกอนพื้นท้องน้ำได้ นอกจากนี้มันยังสามารถจับตัว (Adsorb) กับตะกอนแขวนลอยทั้งในกลุ่มที่เป็นสารอินทรีย์ และอาจจะแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) กับตะกอนฝุ่นแป้ง (Silt and clay particle) ดังนั้นในสภาวะทั่วไปเมื่อโลหะหนักถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมันจะกระจายอยู่ใน 4 ส่วน (Phases) คือ สารละลาย (Dissolved) สารแขวนลอย (Suspended) ดินตะกอน (Sediment) และน้ำระหว่างเม็ดดินตะกอน (Pore water) ซึ่งโลหะหนักในแต่ละส่วนสามารถที่จะมีปฏิริยาการเคลื่อนย้ายระหว่างกันได้ เมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกเปลี่ยนแปลงไป เช่นมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ศักย์ไฟฟ้า (Redox potential) การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณตะกอนแขวนลอยในบริเวณปากแม่น้ำจึงมีผลอย่างมาก (Sholkovitz & Copland, 1981; Schoer, 1985; Comans and Van Dijk, 1988) นอกจากนี้ขบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการตกตะกอน (Diagenesis) ก็ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนปริมาณโลหะหนักในน้ำระหว่างเม็ดดินและในดินตะกอน ซึ่งจะสัมพันธ์กับการแพร่กระจาย (Diffusion) ของโลหะหนักเข้าสู่หรือออกจากดินตะกอนได้ นอกจากนี้กิจกรรมของสิ่งมีชีวิต (Bioturbation) ที่อยู่ในดินตะกอนอาจจะทำให้ขบวนการแลกเปลี่ยนโลหะหนักระหว่างชั้นน้ำและดินตะกอนเกิดได้เร็วขึ้นอีกด้วย (Salomons & Forstner, 1984)

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าการแพร่กระจาย รูปแบบ และการเคลื่อนย้ายโลหะหนักในบริเวณปากแม่น้ำมีความซับซ้อนมาก พฤติกรรมต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อปริมาณโลหะหนักที่สิ่งมีชีวิตจะนำเข้าสู่ร่างกาย (Bioavailable uptake) กล่าวคือ การมีอยู่มากของโลหะหนักในรูปสารละลายเป็นการง่ายที่จะถูกนำเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาศัยอยู่ในน้ำ โดยขบวนการทางการหายใจและการดูดซึมเข้าทางผิวหนังแต่ในกรณีที่โลหะหนักอยู่ในรูปของตะกอนดินหรือสารแขวนลอย การที่จะถูกนำเข้าสู่ร่างกายก็จำกัดลง ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมของโลหะหนักนอกจากจะทำให้เราทราบถึงและคาดการณ์ถึงปริมาณโลหะหนักที่สิ่งมีชีวิตจะนำเข้าสู่ร่างกายได้แล้ว ยังสามารถบอกให้ทราบถึงโอกาสที่มันจะตกตะกอน (Sink) หรือถูกขนถ่าย (Transport) ออกสู่ทะเลได้มากกว่าอีกด้วย

แม่น้ำบางปะกงเป็นแม่น้ำสายสำคัญของภาคตะวันออก เกิดจากการรวมตัวของแม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปราจีนบุรี มีความยาวประมาณ 122 กิโลเมตรก่อนไหลลงสู่อ่าวไทยบริเวณอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา พื้นที่ลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นดินกรดการระบายน้ำไม่ดี (Hungspreugs, et al., 1990) ในฤดูแล้งมีการหนุนของน้ำทะเลขึ้นไปตามลำน้ำเป็นเวลา 3-6 เดือน ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2538) ได้รายงานไว้ว่าความเค็มขึ้นไปถึงจังหวัดปราจีนบุรี เมื่อ พ.ศ. 2527 พื้นที่บริเวณลุ่มน้ำบางปะกงมีประชากรอาศัยอยู่เบาบาง พื้นที่ลุ่มน้ำถูกใช้ไปเพื่อประโยชน์ในการอยู่อาศัย เกษตรกรรม อุตสาหกรรม ประเภทต่างๆ เช่น โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเม็ดสีพีช กิจการเกี่ยวกับไม้ ผลิตภัณฑ์พลาสติก ผลิตภัณฑ์โลหะ การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีเพียงโรงงานไฟฟ้าแห่งเดียวที่อำเภอบางปะกง (Windom et al., 1988) เมื่อปลายปี 2542 ได้มีการทดลองใช้เขื่อนทดน้ำบางปะกง ซึ่ง

ตั้งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเป็นระยะทางประมาณ 71 กิโลเมตร บริเวณบ้านไผ่เสวก ตำบลบางแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา การเปิดใช้เขื่อนดังกล่าวน่าจะมีผลทำให้การไหลเวียนของมวลน้ำใน เอสทูรีเปลี่ยนไปซึ่งน่าจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำอย่างมาก และอาจมีผลกระทบต่อรูปแบบและพฤติกรรมของโลหะหนักในปากแม่น้ำบางปะกงที่เคยมีผู้การศึกษาไว้ เช่น มนูดี หังสพฤกษ์ และศิริชัย ชรรรมวานิช (2529), Windom et al., (1988), Hungspreugs et al. (1990) เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในแม่น้ำบางปะกง
2. ศึกษารูปแบบและพฤติกรรมของโลหะ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)
3. ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของโลหะหนักแต่ละชนิดในฤดูแล้ง และฤดูฝน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักแต่ละชนิด ในรูปของสารละลายน้ำและตะกอนแขวนลอยตามสถานะแวดล้อมที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน
2. ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและพฤติกรรมของโลหะแต่ละชนิด
3. ทำให้สามารถคาดการณ์รูปแบบ ระดับความเป็นพิษและการเคลื่อนย้ายของโลหะบางชนิดได้
4. หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมควบคุมมลพิษสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ในการควบคุมการปล่อยสารมลพิษลงสู่แหล่งน้ำได้ กรมประมงก็สามารถใช้ข้อมูลในการวางแผนการจัดการเกี่ยวกับงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้สถานศึกษาต่างๆยังได้ประโยชน์จากการนำข้อมูลไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ด้วย

บทที่ 2

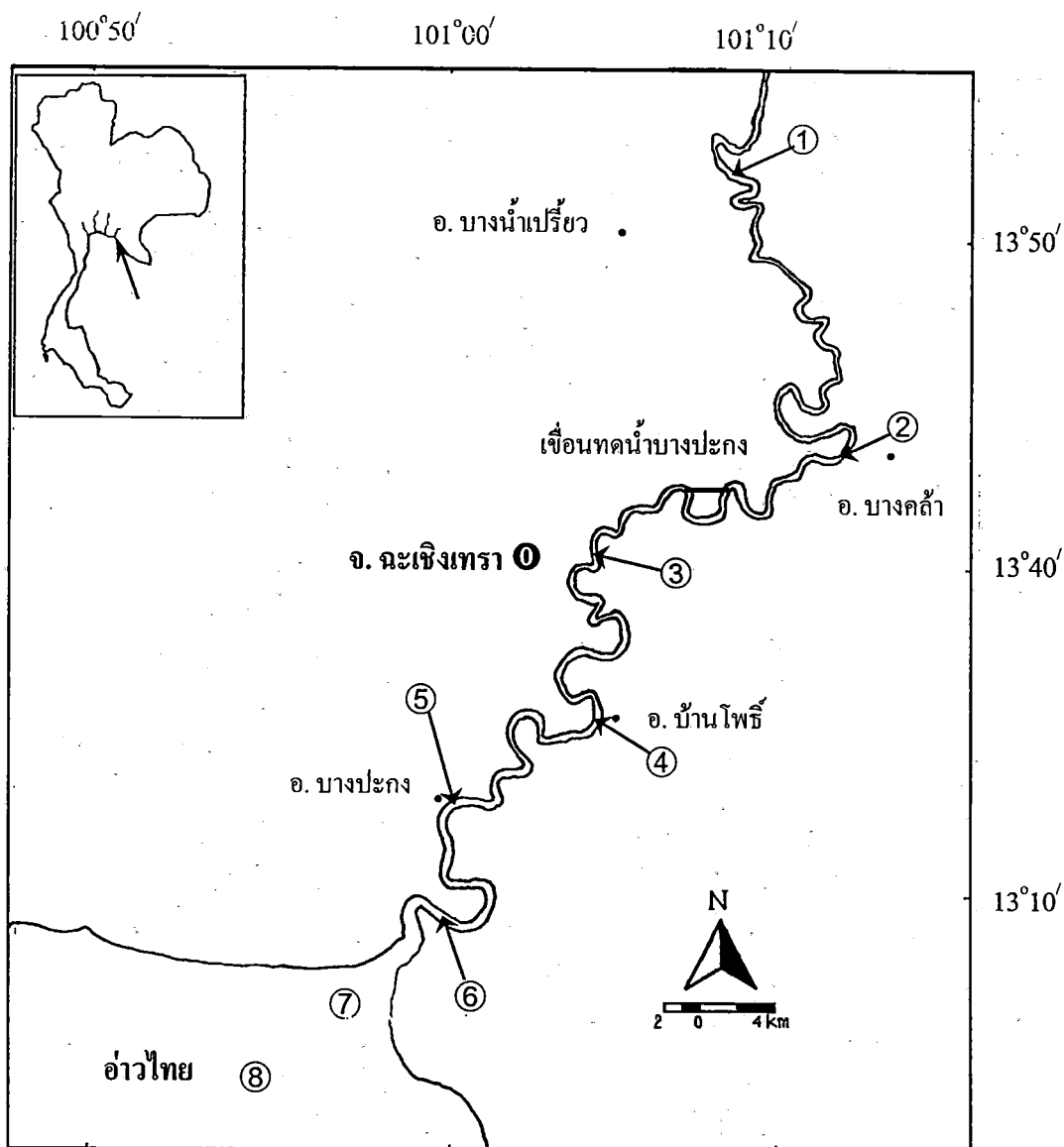
การดำเนินการศึกษา

2.1. สถานีเก็บตัวอย่าง

รูปที่ 2.1. และตารางที่ 2.1. แสดงจุดสำรวจคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่าง จำนวน 8 สถานี ในแม่น้ำบางปะกง ตั้งแต่บ้านบางขนาก อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี ลงมาตามลำน้ำจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ในอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ระยะทางประมาณ 117 กิโลเมตร โดยกำหนดตามระยะทางและการกระจายตัวของน้ำเค็มจากทะเลซึ่งบุกรุกไปยังต้นน้ำในฤดูแล้ง ทำการสำรวจคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างใน สอง ฤดูคือ ฤดูแล้ง (17 มีนาคม 2543) และ ฤดูฝน (29 กรกฎาคม 2543) การกำหนดสถานีจึงมีลักษณะแบบตรึง (Fixed stations) ด้วยการใช้เครื่องตรวจวัดพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global position system; GPS) ช่วยในการตรวจสอบพื้นที่ปฏิบัติงานแต่ละครั้ง นอกจากนี้ในแต่ละสถานี ยังถูกแบ่งย่อยออกเป็นสองจุดตามความลึก คือ ผิวน้ำ (จากผิวน้ำด้านบนลงมา 1 เมตร; Surface water) และพื้นที่ท้องน้ำ (เหนือพื้นดินหรือพื้นที่ท้องน้ำขึ้นมา 1 เมตร; Bottom water) ในแต่ละระดับความลึกจะเก็บตัวอย่างเพื่อการศึกษาโลหะหนัก และธาตุอาหารปริมาณน้อย โดยกระบอกเก็บน้ำชนิดนิสกิน (Niskin) และ กระบอกเก็บน้ำแบบคิตาฮารา (Kitahara) ตามลำดับ การเก็บตัวอย่างจะกระทำสองซ้ำ โดยแต่ละซ้ำของตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ 2 ครั้งเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์

ตารางที่ 2.1 จุดพิกัดพื้นที่ของสถานีสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำในเอสทูรีของแม่น้ำบางปะกง

สถานีที่	พื้นที่	ละติจูด	ลองจิจูด	ระยะทางจากปากแม่น้ำ (km)
1	บ้านบางขนาก	13° 27' 33" N	100° 57' 53" E	117
2	ท่าเรือบางค้ำ	13° 27' 39" N	100° 58' 37" E	81.5
3	ตลาดท่าใหม่	13° 29' 27" N	100° 59' 53" E	57
4	อำเภอบ้านโพธิ์	13° 32' 26" N	100° 59' 56" E	35
5	อำเภอบางปะกง	13° 35' 48" N	101° 4' 39" E	20
6	วัดบน	13° 41' 37" N	101° 5' 39" E	9
7	ปากแม่น้ำ	13° 43' 20" N	101° 12' 21" E	0
8	ทูลุ่่นสำรวจร่องน้ำที่ 9 กรมเจ้าท่า	13° 51' 58" N	101° 9' 14" E	-2



ภาพที่ 2.1 สถานีสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 8 สถานีในบริเวณแอสทรีของแม่น้ำบางปะกง

2.2. การเก็บตัวอย่างน้ำและตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม

การเก็บตัวอย่างน้ำและตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทำโดยการใช้เรือขนาดเล็กเป็นพาหนะออกไปยังสถานที่ที่กำหนดซึ่งอยู่ประมาณกึ่งกลางความกว้างของลำน้ำ คุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัดในจุดเก็บตัวอย่าง (In Situ) และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้งจะสำรวจความลึกน้ำก่อน โดยใช้เครื่อง Echo sounder (Hondex model PS-7) เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำจะต้องผ่านการปรับความเที่ยงตรง (Calibration) ตามมาตรฐานของเครื่องมือ นั้นๆ ก่อนใช้ ในกรณีของ pH จะทำการวัดในตัวอย่างน้ำที่เก็บขึ้นมาด้วยกระบอกเก็บน้ำ

ตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์โลหะหนัก เก็บโดยใช้กระบอกเก็บน้ำชนิดนิสกิน (Niskin) ที่ระดับความลึกที่กำหนดไว้ ถ่ายตัวอย่างน้ำที่ได้ลงในขวดพลาสติก (Polyethylene) ขนาดความจุหนึ่งลิตรซึ่งผ่านการล้างทำความสะอาดโดยการแช่กรด 10% HCl และล้างด้วยน้ำน้ำกลั่นและน้ำ Deionized ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์สารอาหารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย และสารอินทรีย์คาร์บอนเก็บโดยใช้กระบอกเก็บน้ำแบบคิตาฮาระ (Kitahara) ที่ระดับความลึกที่กำหนดไว้ ถ่ายตัวอย่างน้ำที่ได้ลงในขวดพลาสติก (Polyethylene) ขนาดความจุหนึ่งลิตรซึ่งผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วเช่นกัน เก็บรักษาขวดตัวอย่างทั้งหมดไว้ใน Cool Box ขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในภาคสนาม เพื่อรอการขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ ณ มหาวิทยาลัยบูรพาต่อไป โดยทุกขั้นตอนกระทำอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอก

ตารางที่ 2.2. คุณภาพน้ำและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	เครื่องมือวิเคราะห์
1. ความลึก (depth)	echo sounder (Hondex model PS-7)
2. ความเค็ม (salinity)	S-C-T meter (YSI model 33)
3. อุณหภูมิ (temperature)	S-C-T meter (YSI model 33)
4. ความนำไฟฟ้า (conductivity)	S-C-T meter (YSI model 33)
5. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter (WTW model 320)
6. ออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen)	Oxygen meter (YSI model 57)

2.3. การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

2.3.1. ธาตุอาหารปริมาณน้อย

ตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาตรน้ำที่แน่นอนถูกกรองด้วยชุดกรอง ผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °C เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักแห้งที่แน่นอนก่อนนำมาใช้ เก็บน้ำที่กรองได้ในขวด Polypropylene ที่แช่กรดและล้างด้วยน้ำกลั่นและน้ำ Deionized ก่อนนำมาใช้ เก็บตัวอย่างที่กรองได้ไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C ก่อนการวิเคราะห์ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต และซิลิเกต ส่วนกระดาษกรองจีเอพีซึ่งมีตะกอนแขวนลอยตกค้างอยู่ให้เก็บในจานแก้วมีฝาปิด (Petridish) เพื่อนำไปอบแห้งและวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนแขวนลอย (suspended solid; SS) และสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย (particulate organic carbon) ตามข้อ 2.3.2 และ 2.3.3 ตามลำดับ

วิธีการวิเคราะห์สารอาหารอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต และซิลิเกต แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 สารละลายที่เตรียมได้ถูกนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer (Unicam model UV 300) และคำนวณค่าความเข้มข้นของตัวอย่างโดยการเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนของสารมาตรฐาน

ตารางที่ 2.3. วิธีการในการวิเคราะห์ธาตุอาหารปริมาณน้อย และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Detection limit = 3σ ของ Method blank) ในหน่วย μM

ชนิด	วิธีวิเคราะห์	อ้างอิง	Detection limit (μM)
1. แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$)	Phenol-hypochlorite	Grasshoff et al. (1983)	0.007
2. ไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$)	Diazotization	Strickland & Parsons (1972)	0.002
3. ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$)	Cadmium reduction diazotization	Strickland & Parsons (1972)	0.004
4. ฟอสเฟต ($\text{PO}_4\text{-P}$)	Ascorbic acid	Strickland & Parsons (1972)	0.001
5. ซิลิเกต ($\text{SiO}_4\text{-Si}$)	Silicomolybdate	Strickland & Parsons (1972)	0.027

2.3.2. ปริมาณตะกอนแขวนลอย

การวิเคราะห์ใช้ตามวิธีของ APHA, AWWA and WPCF (1992) โดยการใช้กระดาษกรอง GF/C ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °C เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักแห้งที่แน่นอน ก่อนจะนำไปกรองเอาตัวอย่างน้ำผ่านเพื่อเก็บตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ แล้วนำกระดาษกรองนี้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วจึงคำนวณหาปริมาณสารแขวนลอย

2.3.3. สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย

ตัวอย่างตะกอนแขวนลอยซึ่งได้จากขั้นตอนการกรองตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ สารอาหารอินทรีย์และการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยถูกนำมาตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ด้วยเครื่อง TOC Solids Analyzer (version 1.0) ที่อุณหภูมิ 900 °C โดยกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ออกก่อน ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ 1 ชั่วโมง ก่อนทำการวิเคราะห์ โดยเทียบค่ากับกราฟมาตรฐานจากการใช้น้ำตาล Sucrose หรือ Glucose เป็นสารคาร์บอนมาตรฐาน

2.4. โลหะหนัก

2.4.1. การเตรียมตัวอย่าง

กรองตัวอย่างน้ำที่รู้ปริมาตรแน่นอนด้วยชุดกรองพลาสติก (Nulgene) เยื่อกรอง Polycarbonate membrane ขนาด Pore size 0.4 μm โดยเยื่อกรองได้ผ่านการแช่กรดไนตริก 10 % (V/V) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วล้างกรดออกด้วยน้ำกลั่นสองครั้ง ตามด้วยน้ำ Deionized ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำที่ได้จากการกรองถูกเก็บไว้ในขวด Fluorinated Polypropylene เก็บรักษาด้วยการเติมกรด HNO_3 (suprapure) แล้วจึงนำเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ก่อนจะนำไปวิเคราะห์โลหะหนักต่อไป ส่วนของเยื่อกรองที่มีตะกอนแขวนลอยตกค้างอยู่ให้แยกเก็บไว้ในชุดเก็บกระดาษกรอง (Petrislide) และนำไปทำแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ (Freeze dryer) ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณของตะกอน แล้วจึงเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) เพื่อรอการวิเคราะห์โลหะหนักในตะกอนแขวนลอยต่อไป

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำ ทำโดยการเพิ่มความเข้มข้น (Pre-concentrated) ของโลหะหนักในตัวอย่างโดยวิธีตกตะกอนร่วมกับโคบอลต์-เอพีดีซี (Cobalt-APDC co-precipitation technique; APDC = Ammonium-pyrolidin-dithio-carbamate) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Huizenga (1981) การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย ทำโดยการย่อยเยื่อกรองที่ได้จากขั้นตอนการกรองตัวอย่างน้ำ ด้วยกรด HCl กรด HNO_3 และกรด HF ในอัตราส่วน 3:1:1 ในเครื่องย่อยตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ (Milestone mls 1200 mega) ตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักในสาร

ละลายข้างต้นด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrometry (Perkin Elmer; Zeeman Graphite Furnace 4110ZL) และ Flame Analyze 100 Atomic Absorption Spectrometer (FAAS) โดยตรวจวัดความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส และสังกะสีในตะกอนแขวนลอยด้วย FAAS ส่วนที่เหลือวัดด้วยเครื่อง GFAAS โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุด (detection limit) ของโลหะหนักแต่ละตัวที่เครื่องมือดังกล่าวสามารถตรวจวัดได้ คือตามที่ปรากฏในตารางที่ 2.4

2.4.2. การควบคุมคุณภาพโลหะหนักในน้ำ

ค่า Detection limit ของการวิเคราะห์คำนวณจาก 3 σ method blank ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4. การควบคุมคุณภาพตัวอย่าง (Sample quality control) สำหรับการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในสารละลายโดยการทดสอบวิธีการวิเคราะห์กับน้ำเอสทูรี (SLEW-3) และน้ำทะเลมาตรฐาน (CASS-4) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 2.5 และตรวจหาร้อยละของการได้กลับ (% Recovery) ของโลหะแต่ละชนิดภายใต้สภาวะเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ตัวอย่างน้ำทะเลกรอง (กรองผ่านเยื่อกรองโพลีคาร์บอนเนต ขนาดรู 0.4 μm ตามด้วยเยื่อกรองเซลลูโลสในเตอรท ขนาดรู 0.2 μm 250 มิลลิลิตร เพื่อลดตะกอนแขวนลอยและคอลลอยที่อาจจะมีผลขัดขวางการทดลอง เตรียมชุดการทดลองออกเป็นสองชุดโดยแต่ละชุดมี 5 ซ้ำ โดยชุดแรกให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างตามปกติ หรือเป็นชุดควบคุม ส่วนอีก 2 ชุดที่เหลือให้เติม สารละลายมาตรฐาน (Standard addition) โดยใช้สารละลายโลหะหนักมาตรฐานที่ผ่านการเจือจางด้วย 4 % supra. HNO₃ โดยโลหะ Cd, Pb, Ni, Zn, และ Fe ทำการเติมแบบผสม (Mixed standard) ส่วนโลหะแมงกานีส ทำการเติมแบบแยก โดยความเข้มข้นที่เติมคาดว่าใกล้เคียงกับค่าที่มีโอกาสจะพบได้จริงในธรรมชาติ ซึ่งได้เลือกที่ 2 ระดับความเข้มข้น (ต่างกัน 10 เท่า ยกเว้น โลหะแคดเมียมที่ต่างกัน 5 เท่า) ตรวจวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง GFAAS ตามปกติ ก่อนจะนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ recovery โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ recovery} = \{(B-A) / C\}100$$

เมื่อ A คือความเข้มข้นโลหะหนักที่วัดได้จากตัวอย่างน้ำทะเลชุดที่หนึ่ง (ปริมาณที่มีอยู่เดิม)

B คือความเข้มข้นโลหะหนักที่วัดได้จากตัวอย่างน้ำทะเลชุดที่สอง (ปริมาณที่มีอยู่เดิมรวมกับที่เติมลงไป)

C คือความเข้มข้นโลหะหนักที่เติมลง

ผลการตรวจวิเคราะห์ % Recovery พบว่า แคดเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.4. ค่า Detection limit ของโลหะหนักแต่ละชนิดในตัวอย่างน้ำ หลังเตรียมความเข้มข้นด้วยวิธี Cobalt-APDC และตรวจวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง GFAAS

โลหะ	detection limit ($\mu\text{g/l}$)
แคดเมียม	0.002
ทองแดง	0.04
เหล็ก	0.05
แมงกานีส	0.002
นิกเกิล	0.05
ตะกั่ว	0.02
สังกะสี	0.03

ตารางที่ 2.5. ผลการทดสอบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเอสทรี (SLEW-3) และน้ำทะเลมาตรฐาน (CASS-4) $n=3$, - = ไม่มีข้อมูล, nd = ค่าต่ำกว่าค่า Detection limit

โลหะ	SLEW-3			CASS-4		
	ค่ารับรอง $\pm\text{S.D}$ ($\mu\text{g/l}$)	ค่าที่วัดได้ $\pm\text{S.D}$ ($\mu\text{g/l}$)	% Recovery	ค่ารับรอง $\pm\text{S.D}$ ($\mu\text{g/l}$)	ค่าที่วัดได้ $\pm\text{S.D}$ ($\mu\text{g/l}$)	% Recovery
Cd	0.048+0.004	0.035+0.001	72	0.026+0.003	0.023+0.002	90
Cu	1.55+0.12	1.67+0.043	107	0.592+0.055	0.567+0.016	96
Fe	0.568+0.059	0.531+0.028	94	0.713+0.058	0.632+0.024	89
Mn	1.61+0.22	-	-	2.78+0.19	2.27+0.14	82
Ni	1.23+0.07	1.30+0.02	105	0.314+0.030	0.272+0.011	87
Pb	0.009+0.001	nd		0.0098+0.0036	nd	
Zn	0.201+0.037	0.187+0.032	93	0.381+0.057	0.377+0.013	99

2.4.3. การควบคุมคุณภาพของวิธีวิเคราะห์โลหะหนักในตะกอนแขวนลอย

การควบคุมคุณภาพของวิธีการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างตะกอนแขวนลอย โดยตัวอย่างดินตะกอนมาตรฐาน (Marine sediment reference material (MESS-2) จาก National Research Council Canada) ควบคุมไปกับการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนแขวนลอย ซึ่งค่า % Recovery ของที่ได้ตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 % Recovery ของโลหะหนัก ตามวิธีวิเคราะห์ด้วยการเติมสารละลายโลหะหนัก
แบบ mixed standard ลงในตัวอย่างน้ำทะเล (n = 5)

โลหะ	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร)			% recovery
	ค่าที่วัดได้ในน้ำทะเล \pm S.E	ปริมาณที่เติม	ค่าที่วัดได้ \pm S.E	
แคดเมียม	0.026 \pm 0.002	0.1	0.109 \pm 0.001	83
		0.5	0.412 \pm 0.007	77
ทองแดง	0.252 \pm 0.019	0.1	0.358 \pm 0.013	106
		1.0	1.216 \pm 0.017	96
เหล็ก	0.038 \pm 0.003	0.5	0.494 \pm 0.026	91
		5.0	4.583 \pm 0.106	91
แมงกานีส	2.385 \pm 0.011	0.5	2.50 \pm 0.088	102
		5.0	19.68 \pm 0.856	87
นิกเกิล	0.223 \pm 0.013	0.1	0.308 \pm 0.004	86
		1.0	1.227 \pm 0.011	102
ตะกั่ว	0.171 \pm 0.071	0.1	0.269 \pm 0.059	98
		1.0	1.042 \pm 0.068	87
สังกะสี	0.244 \pm 0.017	0.5	0.678 \pm 0.018	87
		5.0	4.765 \pm 0.420	90

หมายเหตุ; S.E = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error)

ตารางที่ 2.7. เปอร์เซ็นต์ Recovery ของโลหะหนักใน marine sediment reference material
(MESS - 2) (n = 6)

โลหะ	ค่าที่มีอยู่จริง	ค่าที่ตรวจวัดได้ \pm S.E	% Recovery
¹ Cd (μ g/g)	0.24	0.239 \pm 0.009	99.5
¹ Cu ((μ g/g)	39.3	36.28 \pm 0.41	92.3
² Fe (mg/g)	43.5	42.7 \pm 0.19	98
² Mn ((μ g/g)	365	357 \pm 2.6	98
¹ Ni ((μ g/g)	49.3	49.72 \pm 0.86	100.8
¹ Pb (μ g/g)	21.9	19.92 \pm 0.23	90.9
² Zn (μ g/g)	172	164.6 \pm 1.9	96

หมายเหตุ : S.E ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error)

1 วัดความเข้มข้นด้วย GFAAS

2 วัดความเข้มข้นด้วย FAAS

บทที่ 3

ผลการศึกษา

3.1. คุณภาพน้ำโดยทั่วไป

ค่าเฉลี่ยและพิสัยของความลึกน้ำและคุณภาพน้ำโดยทั่วไปในแม่น้ำบางปะกงทั้ง 8 สถานีในฤดูแล้งและฤดูฝนได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 อุณหภูมิ

รูปที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิที่ตรวจพบในแต่ละสถานีในฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าอุณหภูมิน้ำในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง $29 - 33^{\circ}\text{C}$ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกจากสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 6 แล้วจึงค่อยลดลงเป็นลำดับในสถานีที่ 7 และ 8 อุณหภูมิของน้ำในฤดูฝนอยู่ในช่วง $29 - 31^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิน้ำค่อยๆเพิ่มขึ้นจากสถานีที่ 1 สู่สถานีที่ 8 บริเวณปากแม่น้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิน้ำ เปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดู ใน 8 สถานี พบว่าอุณหภูมิน้ำในทุกๆ สถานีของทั้ง 2 ฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .01$) (ตารางที่ 3.2)

3.1.2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

รูปที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละสถานี ผลการศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในฤดูแล้งอยู่ในช่วง $2.9 - 7.1 \text{ mg l}^{-1}$ โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าประมาณ 6 mg l^{-1} ที่สถานีที่ 1 แล้วลดลงโดยมีค่าต่ำสุดที่สถานีสถานีที่ 3 ตลาดท่าใหม่ หลังจากนั้นค่าที่วัดได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางที่เข้าใกล้ปากแม่น้ำ และพบ ค่าสูงสุดในสถานีที่ 8 ในฤดูฝนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง $4.4 - 6.4 \text{ mg l}^{-1}$ โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากสถานีต้นน้ำสู่ปากแม่น้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดู ใน 8 สถานี พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในทุกๆ สถานีของทั้ง 2 ฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .01$) (ตารางที่ 3.2)

3.1.3. ความเป็นกรด-ด่าง

รูปที่ 3.1 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในแม่น้ำบางปะกง โดยในทั้งสองฤดูค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำมีค่าต่ำในสถานีที่ 1 หรือบริเวณต้นน้ำและเพิ่มสูงขึ้นเมื่อออกสู่ทะเล ซึ่งเป็นแนวโน้มที่เป็นปกติเนื่องจากน้ำแม่น้ำที่มีค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำ ผสมกับน้ำทะเลที่มีค่าความเป็นกรด - ด่างสูงกว่า ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำที่ตรวจพบในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง $7.2 - 7.7$ ซึ่งสูงกว่า

ตารางที่ 3.1. ความลึกของน้ำ และคุณภาพน้ำโดยทั่วไปในเอสทูรีของแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้ง (22 มี.ค 2543) และฤดูฝน (29-กรกฎาคม 2543)

พารามิเตอร์	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	พิสัย	เฉลี่ย \pm S.E	พิสัย	เฉลี่ย \pm S.E
ความลึก (m)	4.0-10.7	6.5 \pm 0.6	3.5-11.5	7.8 \pm 0.8
อุณหภูมิ (°C)	29-33	31 \pm 0.3	29-31	30 \pm 0.2
ความเค็ม (psu)	8.0-32.5	23.0 \pm 2.2	0-0.5	0 \pm 0
ความเป็นกรด-ด่าง	7.2-7.7	7.5 \pm 0.1	6-7	6.6 \pm 0.1
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg l ⁻¹)	2.9-7.1	5.3 \pm 0.3	4.4-6.4	5.3 \pm 0.2
ความนำไฟฟ้า (μ mhos/cm)	14900->50000	-	102-780	311 \pm 42

ตารางที่ 3.2. แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (Temp) ความเค็ม(Sal) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรด - ด่าง (pH) โดยมี 2 ปัจจัยหลักคือฤดูกาล (2) และ สถานี (8)

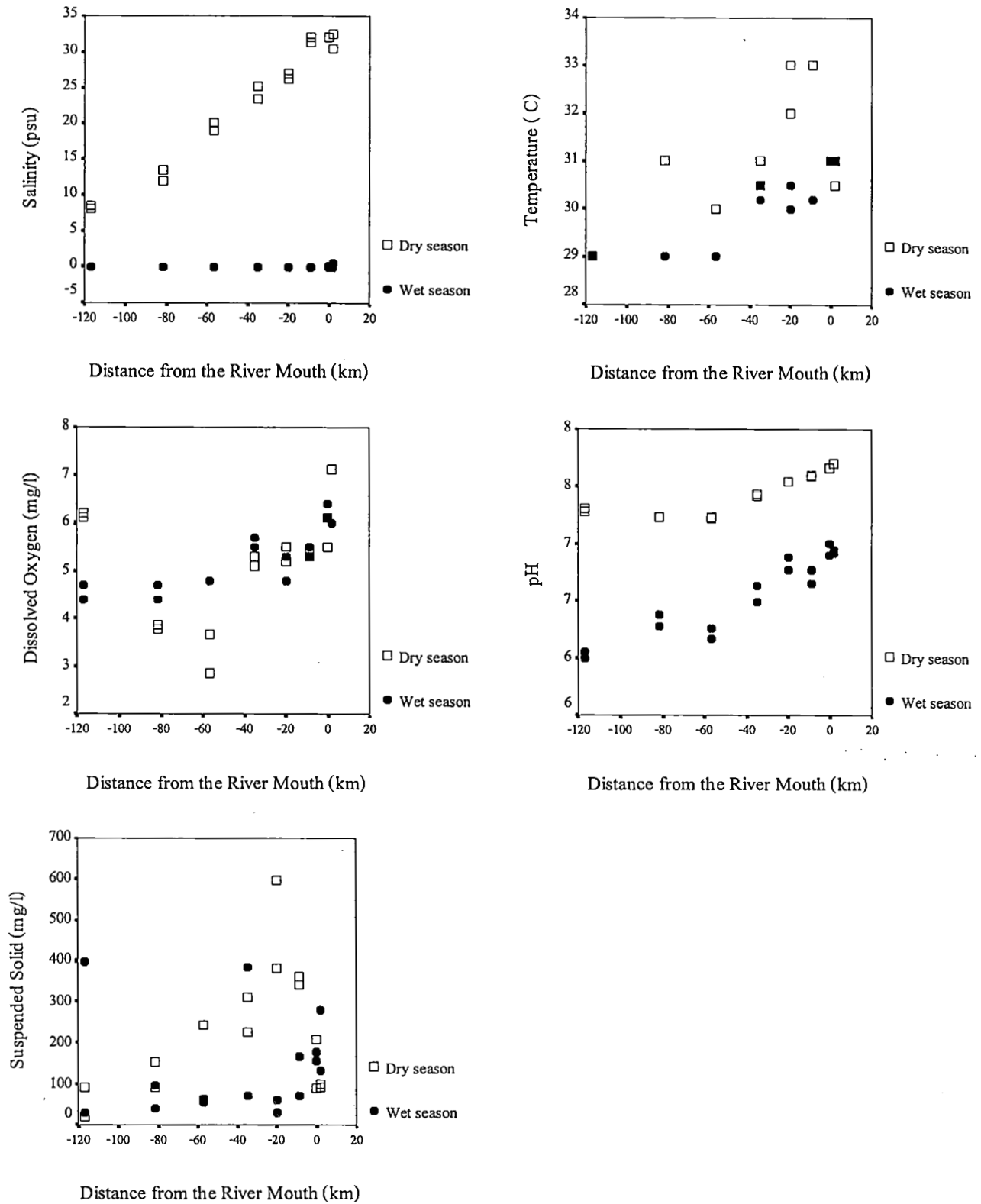
	df			F value		
Source		Temp	Sal	Cond	DO	pH
Season	1	146.2**	11541**	7872**	0.081**	2448**
Station	7	58.31**	221.7**	1287**	50.75**	109.6**
Season*Station	7	24.15**	217.2**	123.9**	18.25**	13.22**

หมายเหตุ: ** P < .01

ค่าที่ตรวจวัดได้ในทุกๆ สถานีในฤดูฝนที่พบมีค่าอยู่ในช่วง 6.0 – 7.0 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเค็ม - ด่าง เปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดู ใน 8 สถานี พบว่าความเค็ม - ด่าง ในทุกๆ สถานีของทั้ง 2 ฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < .01) (ตารางที่ 3.2)

3.1.4. ความเค็ม

ความเค็มที่ตรวจพบในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 8-32.5 psu (Practical salinity unit) โดยพบค่าต่ำสุดที่สถานีที่ 1 และเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับตามระยะทางออกสู่ทะเล (รูปที่ 3.1) และค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 32 psu ในสถานีที่ 6, 7 และ 8 สำหรับในฤดูฝนความเค็มที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วงที่ไม่สามารถตรวจวัดได้หรือความเค็มเป็นศูนย์ ถึง 0.5 psu โดยที่ความเค็มเป็นศูนย์พบได้ในทุกสถานียกเว้นที่พื้นที่ท้องน้ำของสถานีที่ 7 และ 8 ซึ่งความเค็มมีค่าประมาณ 0.2 และ 0.5 psu ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความเค็มเฉลี่ยในแต่ละสถานีระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝนจึงพบว่ามีค่าความแตกต่าง



รูปที่ 3.1. แสดงคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดจากสถานีต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเค็มเปรียบเทียบระหว่าง 2 ถู ใน 8 สถานี พบว่าความเค็มในทุกๆ สถานีของทั้ง 2 ถูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .01$) (ตารางที่ 3.2)

3.1.5. ค่าความนำไฟฟ้า

ในฤดูแล้งค่าความนำไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 14,900 ถึงมากกว่า 50,000 $\mu\Omega \text{ cm}^{-1}$ (รูปที่ 3.1) โดยมีค่าต่ำสุดบริเวณความลึกระดับผิวน้ำในสถานีที่ 1 และค่าสูงสุด คือ มากกว่า 50,000 $\mu\Omega \text{ cm}^{-1}$ (เข้มข้นมากกว่ากำลังความสามารถของเครื่องมือที่จะตรวจวัดได้) พบได้ในสถานีที่ 6, 7 และ 8 ทั้งนี้พบว่าค่าความนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจากสถานีต้นน้ำตามระยะทางออกสู่ทะเล ตั้งแต่ที่สถานีที่ 1 ถึง 6 ค่าความนำไฟฟ้าในฤดูฝนมีค่าระหว่าง 102-780 $\mu\Omega \text{ cm}^{-1}$ การแพร่กระจายมีแนวโน้มเช่นเดียวกับฤดูแล้ง คือมีค่าต่ำสุดที่สถานีต้นน้ำและค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความนำไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่าง 2 ถู ใน 8 สถานี พบว่าปริมาณค่าความนำไฟฟ้าในทุกๆ สถานีของทั้ง 2 ถูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .01$) (ตารางที่ 3.2)

3.2. ปริมาณตะกอนแขวนลอย

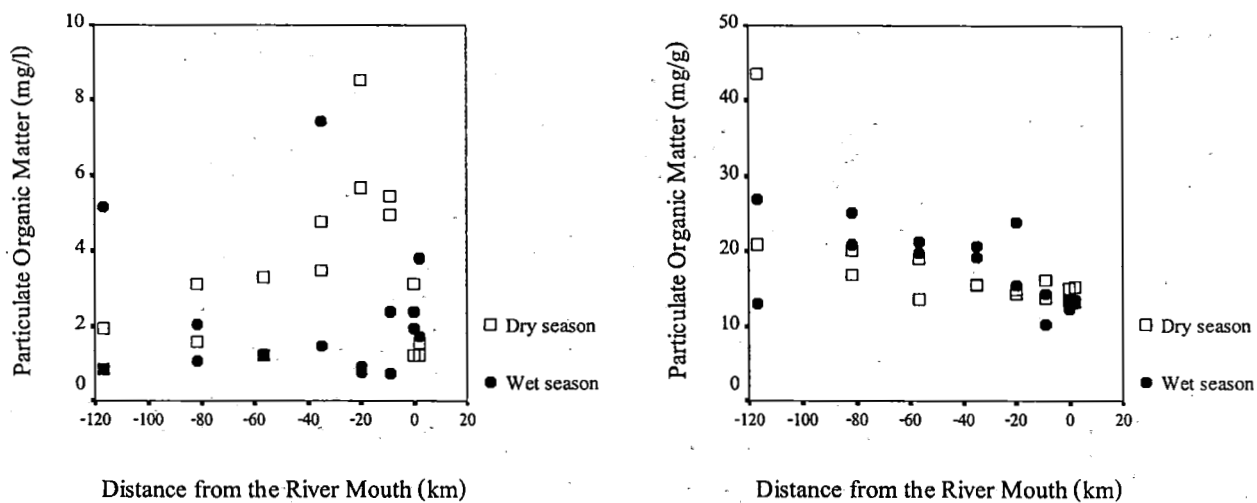
รูปที่ 3.1 แสดงปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับผิวน้ำและพื้นที่องน้ำ โดยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ในฤดูแล้งพบตะกอนแขวนลอยในช่วง 20 - 597 mg l^{-1} โดยค่าต่ำสุดที่ระดับผิวน้ำในสถานีที่ 1 และค่าสูงสุดพบที่ระดับพื้นที่องน้ำในสถานีที่ 5 อำเภอบางปะกง ลักษณะการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากสถานีที่ 1 ต้นน้ำจนถึงตอนกลางของแม่น้ำในสถานีที่ 5 และหลังจากนั้นลดลงตามลำดับจนถึงสถานีปากแม่น้ำ ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นเหมือนกันทั้ง 2 ระดับความลึก

ในฤดูฝนตรวจพบปริมาณตะกอนแขวนลอยในช่วง 31 - 386 mg l^{-1} โดยพบค่าต่ำสุดที่ระดับผิวน้ำในสถานีที่ 1 เช่นเดียวกับฤดูแล้ง แต่ค่าสูงสุดพบที่ระดับพื้นที่องน้ำในสถานีที่ 4 การแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยในฤดูนี้ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจากสถานีที่ 1 ต้นน้ำออกสู่ปากแม่น้ำ ปริมาณตะกอนแขวนลอยโดยเฉลี่ยในฤดูแล้งมีแนวโน้มที่สูงกว่าในฤดูฝน โดยเฉพาะในสถานีที่ 5 และ 6 ของทั้ง 2 ถูมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยแสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < .01$) โดยขึ้นอยู่กับกาลเปลี่ยนแปลงของเวลา (ฤดูกาล) สถานี (สถานี) และระดับความลึกของน้ำเป็นสำคัญ (ตารางที่ 3.4)

3.3. สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย

การรายงานผลของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอยจะแสดงในสองรูปแบบคือในหน่วยน้ำหนักสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอยต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (POC, mg l^{-1}) (รูปที่ 3.2) และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในหน่วยน้ำหนักแห้งของตะกอนแขวนลอย (POC, mg g^{-1}) ทั้งนี้เนื่องจากค่าทั้งสองมีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อการอธิบายพฤติกรรมของสารที่มีอยู่ในมวลน้ำในแม่น้ำบางปะกงในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ในฤดูแล้งพบ POC (mg l^{-1}) มีค่าอยู่ในช่วง 0.86 - 8.53 mg l^{-1} โดยค่าต่ำสุดพบที่ระดับพื้นน้ำของสถานีที่ 1 ส่วนค่าสูงสุดพบที่ระดับพื้นน้ำของสถานีที่ 5 โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากสถานีที่ 1 ต้นน้ำจนถึงตอนกลางของแม่น้ำในสถานีที่ 5 แล้วจึงลดลงตามลำดับเมื่อออกสู่ปากแม่น้ำ ในฤดูฝนพบ POC (mg l^{-1}) อยู่ในช่วง 0.75 - 7.42 mg l^{-1} โดยพบค่าต่ำสุดที่ระดับพื้นน้ำในสถานีที่ 6 และค่าสูงสุดที่ระดับพื้นน้ำในสถานีที่ 4 การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสถานีต้นน้ำไปสู่ทะเล ยกเว้นที่ระดับพื้นน้ำสถานีที่ 1 และสถานีที่ 4 ที่มีค่าที่สูงผิดปกติ ความเข้มข้นของ POC (mg l^{-1}) ระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝนมีความแตกต่างโดยเฉลี่ยแล้วในฤดูแล้งมีความเข้มข้น POC (mg l^{-1}) มากกว่าในฤดูฝน โดยเฉพาะบริเวณระหว่างสถานีที่ 4 ถึงสถานีที่ 6



รูปที่ 3.2. แสดงปริมาณสารอินทรีย์ตามระยะทางจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำในหน่วย mg l^{-1} และ mg g^{-1} ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

ตารางที่ 3.3 ปริมาณธาตุอาหารปริมาณน้อย ตะกอนแขวนลอย และสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย ในบางปะกงเอสทูรีในฤดูแล้ง และฤดูฝน หมายเหตุ :nd หมายถึงมีค่าน้อยกว่าค่า detection limit ของชิลิเกต (0.03 μM)

พารามิเตอร์	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย \pm S.E	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย \pm S.E
แอมโมเนีย (μM)	0.12 - 3.84	0.79 \pm 0.25	11.79 - 16.82	13.96 \pm 0.35
ไนไตรท์ (μM)	0.40 - 12.98	5.23 \pm 1.41	0.37 - 0.92	0.59 \pm 0.04
ไนเตรท (μM)	31.40 - 86.90	55.52 \pm 5.44	18.60 - 28.78	22.90 \pm 0.69
ฟอสเฟต (μM)	0.50 - 3.20	2.46 \pm 0.21	0.57 - 1.71	0.99 \pm 0.07
ชิลิเกต (μM)	nd - 151.8	76.7 \pm 10.9	111.9 - 130.4	121.1 \pm 1.3
ตะกอนแขวนลอย (mg l^{-1})	20 - 597	211 \pm 39	31 - 386	138 \pm 29
สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย (mg l^{-1})	0.86 - 8.53	3.24 \pm 0.54	0.75 - 7.42	2.20 \pm 0.46
สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย (mg g^{-1})	13.26 - 43.56	17.53 \pm 7.32	10.35 - 27.00	17.68 \pm 5.16

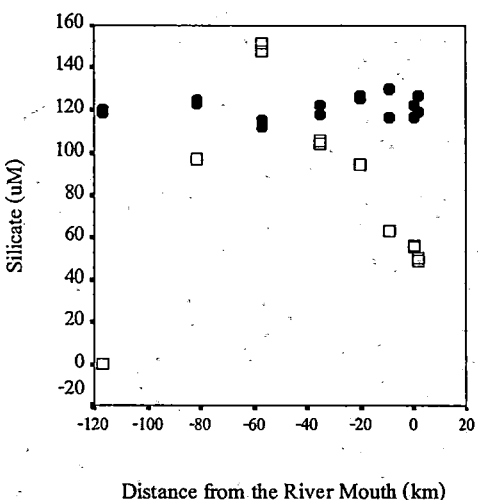
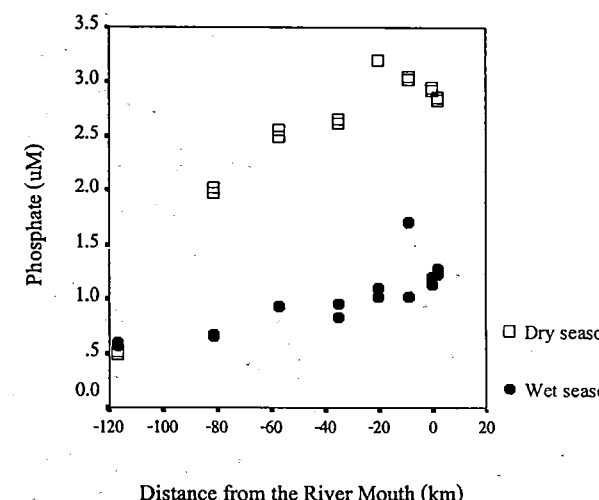
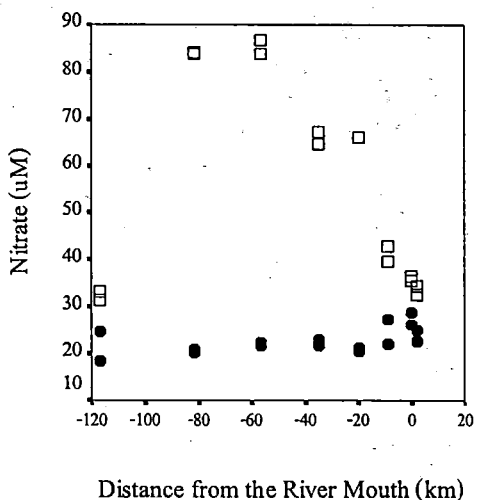
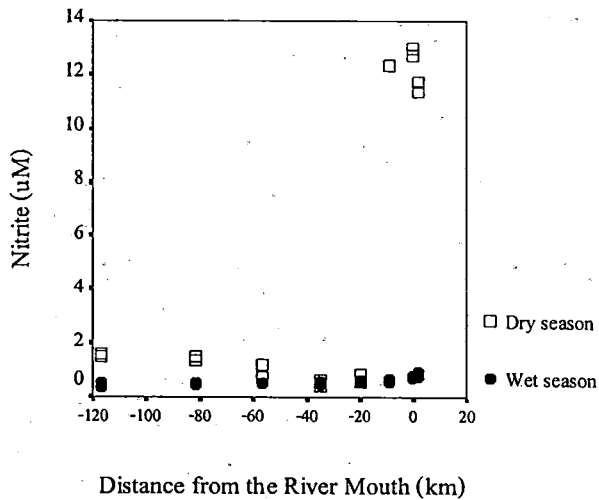
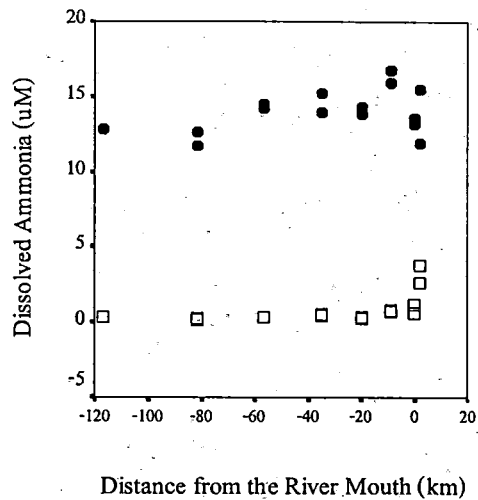
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของ POC (mg l^{-1}) ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านฤดูกาล (สถานี) และระดับความลึกของน้ำ (ตารางที่ 3.4) เมื่อพิจารณาปริมาณ POC (mg g^{-1}) แล้วจะพบว่าสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มลดลงจากสถานีที่ 1 ออกสู่ปากแม่น้ำ โดยพบแนวโน้มนี้ในทั้งสองฤดูกาล และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของปริมาณ POC (mg g^{-1}) ในทั้งสองฤดูกาล ไม่พบความแตกต่างกัน

3.4. ธาตุอาหารปริมาณน้อย

ค่าพิสัย และค่าเฉลี่ย ของปริมาณสารอาหารอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต และชิลิเกต แสดงในตารางที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดการแพร่กระจายดังนี้

3.4.1. แอมโมเนีย

ในฤดูแล้งพบว่าแอมโมเนียมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.12-3.84 μM โดยความเข้มข้นต่ำสุดพบได้ที่ระดับพื้นท้องน้ำในสถานีที่ 2 ทำเรือบางคล้า ขณะที่พบค่าสูงสุดได้ที่ระดับผิวน้ำในสถานีที่ 8 หรือบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งลักษณะการแพร่กระจายของแอมโมเนีย มีแนวโน้มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยตามระยะทางจากต้นน้ำสู่ทะเลและสังเกตเห็นได้ชัดเจนในสถานีที่ 7 และ 8 (รูปที่ 3. 3) นอกจากนี้ยัง



รูปที่ 3.3. แสดงความเข้มข้นของธาตุอาหารปริมาณน้อยจากบริเวณต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้งและฤดูฝน

พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่มีความแตกต่างที่ระดับความลึกของน้ำต่างกัน ยกเว้นในสถานีที่ 8 ในฤดูฝนพบค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่พบอยู่ในช่วง 11.79-16.82 μM และพบค่าต่ำสุดอยู่ที่ระดับพื้นท้องน้ำสถานีที่ 2 เช่นเดียวกับฤดูแล้ง ในขณะที่ค่าสูงสุดพบที่ระดับพื้นท้องน้ำในสถานีที่ 6 หน้าวัดบน แนวโน้มการแพร่กระจายของแอมโมเนียมีลักษณะสูงขึ้นเล็กน้อยจากสถานีต้นน้ำถึงสถานีที่ 6 หลังจากนั้นก็ลดลงในสถานีที่ 7 และ 8 ตามลำดับ ความแตกต่างของแอมโมเนียในสองระดับความลึกพบได้ในสถานีที่ 8 เช่นเดียวกับฤดูแล้ง ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้ระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝน ในทุกสถานีมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยค่าเฉลี่ยของฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้งประมาณ 17 เท่า

3.4.2. ไนไตรท์

ในฤดูแล้งพบค่าความเข้มข้นของไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.40-12.98 μM โดยความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดพบที่ระดับผิวน้ำในสถานีที่ 4 และ สถานีที่ 7 ตามลำดับ ในช่วงแรกความเข้มข้นของไนไตรท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 5 แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในสถานีที่ 6, 7 และ 8 โดยไม่พบความแตกต่างของไนไตรท์ตามระดับความลึกน้ำยกเว้นในสถานีที่ 3 ในฤดูฝนปริมาณไนไตรท์ที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 0.37-0.92 μM โดยพบค่าต่ำสุดที่ระดับผิวน้ำบริเวณต้นน้ำในสถานีที่ 1 และพบค่าสูงสุดที่ระดับพื้นท้องน้ำในสถานีที่ 8 หรือบริเวณปากแม่น้ำ การแพร่กระจายของไนไตรท์จากต้นน้ำออกสู่ทะเลมีลักษณะค่อนข้างคงที่และไม่พบความแตกต่างตามระดับความลึกน้ำ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนไตรท์ในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝน โดยเฉพาะในสถานีที่ 6, 7 และ 8 มีความต่างกันมากกว่า 10 เท่า

3.4.3. ไนเตรท

ความเข้มข้นของไนเตรทที่ตรวจพบได้ในฤดูแล้งอยู่ในช่วง 31.4-86.9 μM โดยความเข้มข้นของไนเตรท มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากสถานีที่ 1 จนมีค่าสูงสุดที่สถานีที่ 2 และ 3 จากนั้นก็จะค่อยๆ ลดลงเป็นลำดับจนมีค่าต่ำสุดในสถานีที่ 8 ความเข้มข้นของไนเตรทไม่มีความแตกต่างกันตามระดับความลึกของน้ำ ในฤดูฝนความเข้มข้นของไนเตรทที่ตรวจวัดได้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ ระหว่าง 18.60-28.78 μM โดยค่าต่ำสุดพบได้ในระดับพื้นท้องน้ำของสถานีที่ 1 และค่าสูงสุดพบได้ที่ระดับผิวน้ำในสถานีที่ 7 ความเข้มข้นของไนเตรทมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยจากต้นน้ำออกสู่ทะเล และเช่นเดียวกับฤดูแล้งที่ความเข้มข้นของไนเตรทไม่แตกต่างกันตามความลึกน้ำ

3.4.4. ฟอสเฟต

ในฤดูแล้งพบว่าฟอสเฟตมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.50-3.20 μM ความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดสามารถตรวจพบได้ที่ระดับพื้นท้องน้ำในสถานีที่ 1 และ 5 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของฟอสเฟตมีค่าสูงขึ้นจากสถานีที่ 1 ไปสู่สถานีที่ 5 และค่อยๆ ลดลงจนถึงปากแม่น้ำ ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นของฟอสเฟตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่แคบกว่าฤดูแล้งคืออยู่ในช่วง 0.57-1.71 μM โดยพบค่าต่ำสุดในระดับผิวน้ำสถานีที่ 1 และค่าสูงสุดที่ระดับพื้นท้องน้ำในสถานีที่ 6 ลักษณะการแพร่กระจายของ

ตารางที่ 3.4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอย (SS) สารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย (POC) และธาตุอาหารปริมาณน้อย โดยประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยคือ ฤดู (2) สถานี (8) และความลึกน้ำ (2)

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	POC mg l ⁻¹	POC mg g ⁻¹	ค่า F	NH ₃	NO ₂	NO ₂	PO ₄	SiO ₂
Season	1	42.01**	12.66**	1.179	8336**	31302**	3395**	3082**	1393**	
Station	7	15.62**	5.773**	7.070**	16.23**	6439**	180.7**	219.5**	171.3**	
Depth	1	43.95**	33.18**	0.012	0.521	5.767*	0.261	0.618	0.476	
Season*Station	7	20.20**	10.26**	0.382	15.28**	5951**	233.6**	78.30**	188.2**	
Season*Depth	1	0.0000	0.739	1.103	1.785	17.86**	3.330	2.88	0.142	
Station*Depth	7	1.679	1.277	0.230	1.925	1941	0.968	3.432**	1.166	
Season*Station* Depth	7	3.625*	2.505*	2.089	5.381**	2.750*	1.562	2.533*	0.983	

หมายเหตุ : * P < .05 ** P < .01

ฟอสเฟตในฤดูนี้มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับจากต้นน้ำออกสู่ทะเล ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่พบได้ในฤดูแล้งจะสูงกว่าในฤดูฝน ยกเว้นสถานีที่ 1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

3.4.5 ซิลิเกต

ความเข้มข้นที่ตรวจพบได้ในฤดูแล้งอยู่ในช่วงที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ (น้อยกว่าค่า Detection limited ของซิลิเกตที่ 0.03 μM) ในสถานีที่ 1 จนถึง 151.8 μM ที่ระดับพื้นที่ท้องน้ำในสถานีที่ 3 ความเข้มข้นของซิลิเกตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากสถานีที่ 1 ที่มีค่าต่ำมาก จนมีค่าสูงสุดในสถานีที่ 3 แล้วลดลงเป็นลำดับจนกระทั่งถึงสถานีที่ 8 บริเวณปากแม่น้ำ โดยความเข้มข้นของซิลิเกตไม่แตกต่างกันตามความลึกในทุกสถานี ในฤดูฝนความเข้มข้นของซิลิเกตมีค่าค่อนข้างสูงและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ คือ 111.9-130.4 μM โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุดพบได้บริเวณระดับผิวน้ำในสถานีที่ 3 และค่าสูงสุดที่ระดับพื้นที่ท้องน้ำสถานีที่ 6 ความเข้มข้นของซิลิเกตในฤดูฝนมีค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดพื้นที่ที่ทำการศึกษา และไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นของซิลิเกตในทั้ง 2 ระดับความลึกเช่นเดียวกับในฤดูแล้ง โดยเฉลี่ยแล้วความเข้มข้นของซิลิเกตในฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าในฤดูฝน ยกเว้นสถานีที่ 3 ที่พบว่าฤดูฝนมีค่าที่ต่ำกว่าฤดูแล้ง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของธาตุอาหารปริมาณน้อย ใน 2 ฤดู 8 สถานีและ 2 ระดับความลึกแสดงไว้ในตารางที่ พบว่าแอมโมเนีย ไนเตรท ฟอสเฟต และ ซิลิเกต ใน 2 ฤดูมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < .01$) โดยมีความแตกต่างกันตามสถานี แต่ไม่แตกต่าง

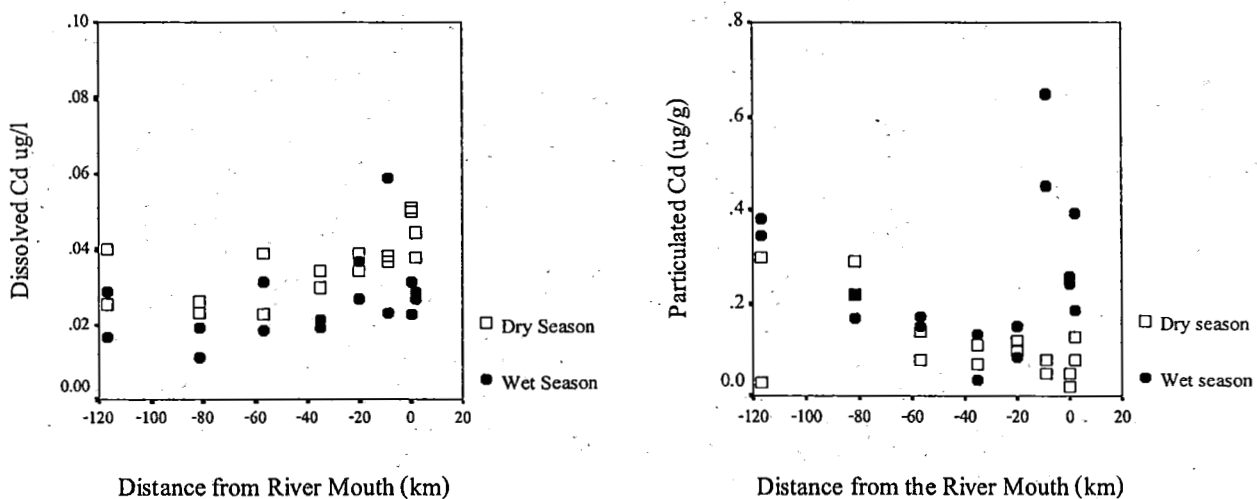
ตามความลึก ในขณะที่ไนโตรเจน ใน 2 จุดมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < .01$) และความแตกต่างนี้ก็ยิ่งขึ้นอยู่กับสถานที่ และระดับความลึกด้วย (ตารางที่ 3.4.)

3.5. โลหะหนัก

ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี แสดงไว้ในตารางที่ 3.5. ส่วนค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย แสดงไว้ในตารางที่ 3.6. ซึ่งสามารถสรุปในรายละเอียดได้ดังนี้

3.5.1 แคดเมียม

ความเข้มข้นของแคดเมียมละลายน้ำในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง $0.023 - 0.051 \mu\text{g l}^{-1}$ การแพร่กระจายสารละลายแคดเมียมมีแนวโน้มลดลงจากสถานีที่ 1 ไปมีค่าต่ำสุดที่สถานีที่ 2 แล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสถานีที่ 8 บริเวณปากแม่น้ำ (รูปที่ 3.4.) ในฤดูฝนพบค่าความเข้มข้นของแคดเมียมละลายน้ำอยู่ในช่วง $0.011-0.059 \mu\text{g l}^{-1}$ โดยพบความเข้มข้นต่ำสุดในสถานีที่ 2 เช่นเดียวกับในฤดูแล้ง และความเข้มข้นสูงสุดในสถานีที่ 6 การแพร่กระจายของสารละลายแคดเมียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสถานีที่ 2 ออกสู่ปากแม่น้ำ เช่นเดียวกับในฤดูแล้ง ปริมาณของแคดเมียมในรูปของตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้ง ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง $0.054 - 0.44 \mu\text{g g}^{-1}$ โดยมีแนวโน้มที่ลดต่ำลงจากจากสถานีที่ 1 ต้นน้ำจนถึงสถานีที่ 7 ในสถานีที่ 8 พบว่ามีปริมาณที่สูงกว่าสถานีที่ 7 เล็กน้อยในฤดูฝนความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง $0.073 - 1.47 \mu\text{g g}^{-1}$ โดยมีแนวโน้มลดลงจาก สถานีที่ 1 ต้นน้ำ ถึง สถานีที่ 5 แล้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสถานีที่ 6, 7 และ 8

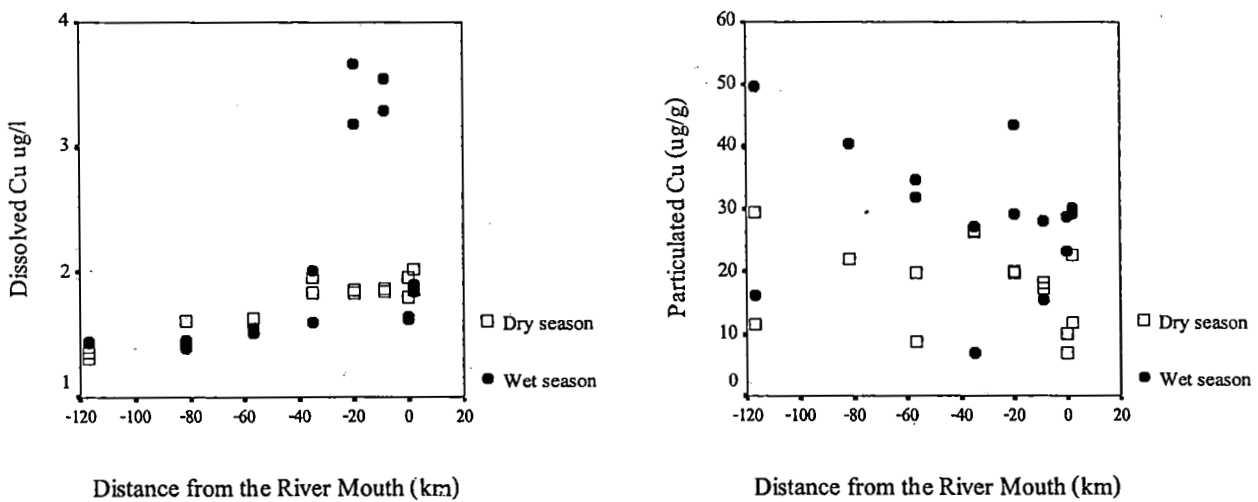


รูปที่ 3.4. แสดงความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสารละลายแคดเมียมพบว่าความเข้มข้นในฤดูแล้งและฤดูฝนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .01$) โดยมีฤดูและสถานีเป็นปัจจัยหลักไม่เกี่ยวข้องกับความลึกของน้ำ ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณแคดเมียมในตะกอนแขวนลอยพบว่าแคดเมียมในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งและฤดูฝนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) โดยมีฤดูเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความแตกต่างไม่เกี่ยวข้องกับสถานีและความลึกของน้ำ (ตารางที่ 3.7. และ 3.8.)

3.5.2 ทองแดง

ความเข้มข้นของทองแดงละลายน้ำในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง $0.658 - 1.009 \mu\text{g l}^{-1}$ โดยความเข้มข้นของทองแดงละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสถานีที่ 1 ที่ตรวจพบค่าต่ำสุด จนถึงบริเวณปากแม่น้ำ โดยมีค่าสูงสุดในสถานีที่ 8 ในฤดูฝนความเข้มข้นของทองแดงละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง $0.698-1.836 \mu\text{g l}^{-1}$ โดยสถานีที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุด คือ สถานีที่ 2 และสถานีที่ 5 ตามลำดับ โดยรูปแบบการแพร่กระจายของทองแดงในช่วงแรกระหว่างสถานีที่ 1 ถึง 4 มีค่าใกล้เคียงกับในฤดูแล้ง แต่ในสถานีที่ 5 และ 6 ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าสูงขึ้นอย่างมากแล้วลดลงใน สถานีที่ 7 และ 8 โดยในสถานีทั้ง 2 นี้ มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับในฤดูแล้งเช่นกัน ปริมาณของทองแดงในรูปของตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้ง (รูปที่ 3.5.) ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง $22.91 - 29.25 \mu\text{g g}^{-1}$ โดยมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 3 แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในสถานีที่ 4 จากนั้นลดลงเรื่อยๆจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูฝนปริมาณทองแดงในตะกอนแขวนลอยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากสถานีที่ 1 ถึง 4 จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนถึงปากแม่น้ำ



รูปที่ 3.5. แสดงความเข้มข้นของทองแดงในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสารละลายทองแดงพบว่าค่าความเข้มข้นของทองแดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ซึ่งความแตกต่างนี้มีสถานเป็นตัวกำหนดที่สำคัญ โดยความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ความลึกของน้ำ 2 ระดับไม่ปรากฏว่ามีความแตกต่างกัน ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณทองแดงในตะกอนแขวนลอยพบว่า ปริมาณทองแดงในตะกอนแขวนลอยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < .01$) โดยความแตกต่างมีสถานีและความลึกน้ำเป็นปัจจัยหลักแต่ไม่เกี่ยวข้องกับฤดู

ตารางที่ 3.5. ปริมาณโลหะหนักในรูปของสารละลายบริเวณเอสทูรีแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง (22 มีนาคม 2543) และฤดูฝน (29 กรกฎาคม 2543)

โลหะ (N=16)	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย \pm S.D	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย \pm S.D
แคดเมียม ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.02 - 0.05	0.035 ± 0.009	0.011 - 0.059	0.026 ± 0.001
ทองแดง ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.658 - 1.009	0.867 ± 0.11	0.698 - 1.836	1.035 ± 0.42
เหล็ก ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.282 - 14.209	3.792 ± 4.62	26.82 - 92.17	55.87 ± 17.47
แมงกานีส ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.116 - 25.171	3.764 ± 7.13	0.378 - 12.068	6.271 ± 3.91
นิกเกิล ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.998 - 2.578	1.580 ± 0.57	0.654 - 1.599	1.200 ± 0.21
ตะกั่ว ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.024 - 0.214	0.108 ± 0.066	0.148 - 0.855	0.408 ± 0.23
สังกะสี ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.28 - 1.44	0.50 ± 0.29	0.54 - 5.17	1.85 ± 1.21

หมายเหตุ : S.D = ความแปรปรวนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 3.6. แสดงค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย ในฤดูแล้งและฝน

โลหะ (N=16)	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย \pm S.D	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย \pm S.D
แคดเมียม ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.054 - 0.44	0.139 ± 0.101	0.073 - 1.47	0.363 ± 0.419
ทองแดง ($\mu\text{g l}^{-1}$)	22.91 - 29.25	25.82 ± 2.13	24.36 - 29.31	26.33 ± 1.35
เหล็ก ($\mu\text{g l}^{-1}$)	27.57 - 47.15	42.11 ± 5.24	48.04 - 57.26	52.02 ± 2.46
แมงกานีส ($\mu\text{g l}^{-1}$)	1.93 - 3.89	2.92 ± 0.54	0.944 - 2.48	1.64 ± 0.389
นิกเกิล ($\mu\text{g l}^{-1}$)	38.12 - 56.02	46.44 ± 5.89	40.93 - 59.15	47.50 ± 6.29
ตะกั่ว ($\mu\text{g l}^{-1}$)	22.42 - 100.99	36.89 ± 18.85	15.68 - 25.62	20.48 ± 2.41
สังกะสี ($\mu\text{g l}^{-1}$)	80.37 - 117.74	95.01 ± 10.48	99.03 - 183.86	113.93 ± 21.02

๓๖๖.๗๓๙๔

๙๘๗๓๗

๑.๑๔

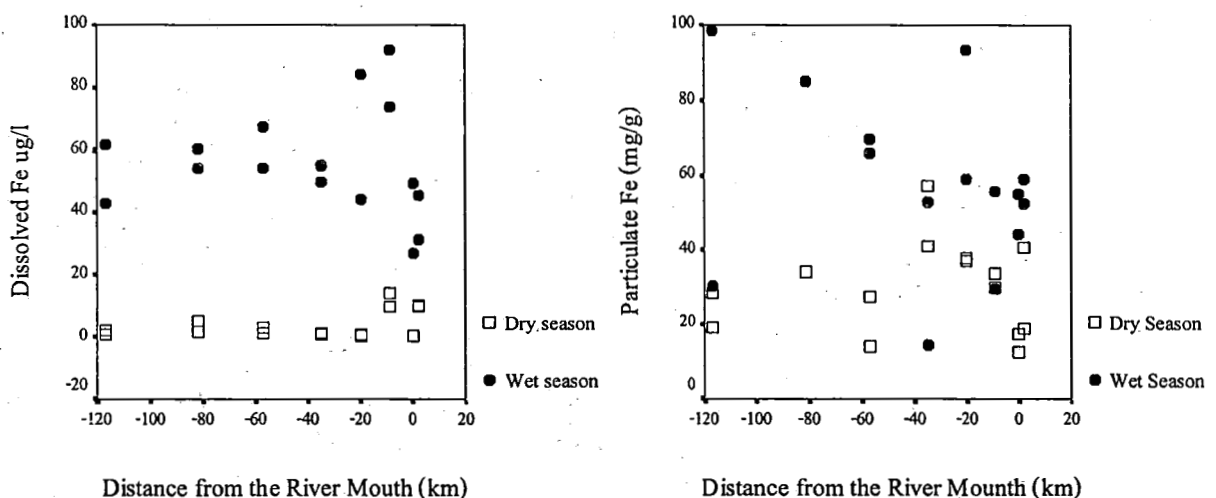
249007

3.5.3 เหล็ก

ความเข้มข้นของสารละลายเหล็กในฤดูแล้งพบว่าอยู่ในช่วง $0.28-14.21 \mu\text{g l}^{-1}$ โดยสถานีที่พบค่าต่ำสุดและสูงสุด คือ 7 และ 6 ตามลำดับ โดยสารละลายเหล็กมีค่าความเข้มข้นค่อนข้างคงที่ในสถานีที่ 1 ถึง 5 และเพิ่มขึ้นในสถานีที่ 6 และ 8 ในฤดูฝนความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมีค่าอยู่ในช่วง $26.82-92.17 \mu\text{g l}^{-1}$ ความเข้มข้นของสารละลายเหล็กในฤดูนี้มีค่อนข้างคงที่ในสถานีที่ 1 ถึง 4 และเพิ่มสูงขึ้นในสถานีที่ 5 และ 6 แล้วลดลงอีกในสถานีที่ 5 และ 6 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของเหล็กที่พบได้ในฤดูฝนนี้มีค่าสูงกว่าฤดูแล้ง โดยเฉลี่ยประมาณ 15 เท่า

ความเข้มข้นของปริมาณเหล็กในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งพบว่าอยู่ในช่วง $27.57-47.15 \text{ mg g}^{-1}$ โดยมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในสถานีที่ 1 ถึง 3 แล้วมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในสถานีที่ 4 (Turbidity Maximum Zone) แล้วค่อยๆ ลดลงสู่บริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูฝนปริมาณเหล็กในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งพบว่าอยู่ในช่วง $48.04-57.26 \text{ mg g}^{-1}$ โดยมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงจากสถานีที่ 1 ไปมีค่าต่ำสุดในสถานีที่ 4 เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในสถานีที่ 5 แล้วลดลงโดยมีค่าค่อนข้างในสถานีที่ 6, 7 และ 8

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสารละลายเหล็ก แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < .01$) โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางด้านเวลาหรือฤดูกาลเท่านั้น ไม่เกี่ยวข้องกับระดับความลึกของน้ำ และสถานีที่หรือสถานี ซึ่งไม่มีอิทธิพลที่จะก่อให้เกิดความแตกต่างกันของปริมาณเหล็กที่ตรวจวัดได้ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กในตะกอนแขวนลอย ความแปรปรวนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < .01$) โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางด้านเวลาหรือฤดูกาลและสถานีเท่านั้น ไม่เกี่ยวข้องกับระดับความลึกน้ำ

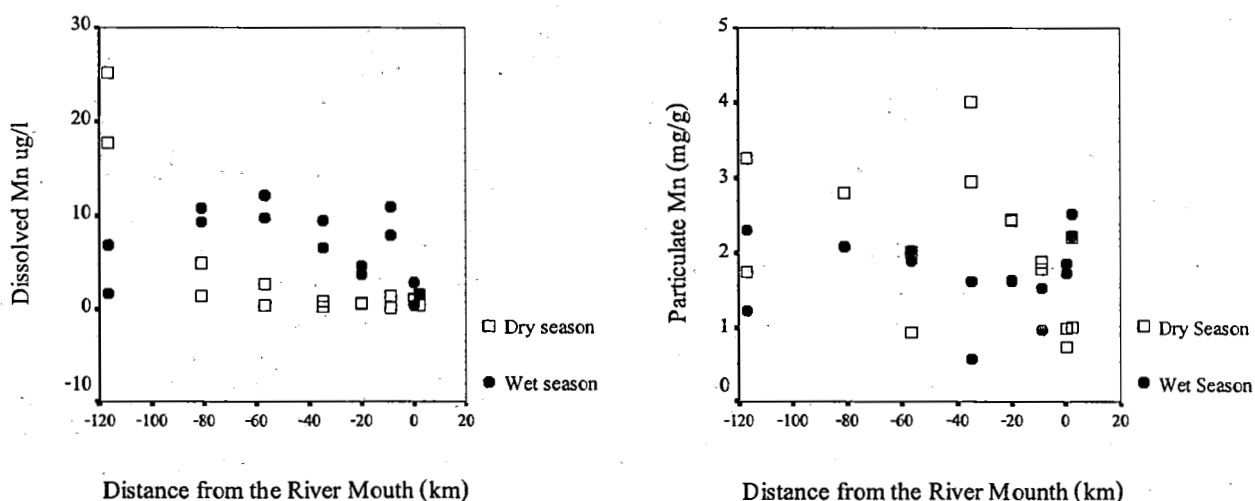


รูปที่ 3.6. แสดงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

3.5.4 แอมงกานีส

ความเข้มข้นในฤดูแล้งของสารละลายแอมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง $0.12 - 25.17 \mu\text{g l}^{-1}$ โดยการแพร่กระจายของสารละลายแอมงกานีสในฤดูนี้มีลักษณะที่ลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าสูงสุดในสถานีที่ 1 ถึง 3 และหลังจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่จนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูฝนสารละลายแอมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง $0.38-12.07 \mu\text{g l}^{-1}$ การแพร่กระจายของสารละลายแอมงกานีสมีแนวโน้มที่สูงขึ้นจากสถานีที่ 1 ถึง 3 แล้วมีแนวโน้มลดลงเรื่อยสู่ปากแม่น้ำ ยกเว้นในสถานีที่ 6 ที่มีค่าสูง ปริมาณแอมงกานีสในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง $1.93-3.89 \text{ mg g}^{-1}$ โดยมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจากสถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 3 จากนั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในสถานีที่ 4 ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็น Turbidity maximum Zone แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ รูปแบบการแพร่กระจายนี้ใกล้เคียงกับการแพร่กระจายของปริมาณเหล็กในตะกอนแขวนลอยมาก ในฤดูฝนปริมาณแอมงกานีสในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง $0.944-2.48 \text{ mg g}^{-1}$ โดยการแพร่กระจายของปริมาณแอมงกานีสในตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจากสถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 6 แล้วมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในสถานีที่ 7 และ 8 ซึ่งคล้ายกับการแพร่กระจายของสารละลายแคลเซียม

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสารละลายแอมงกานีส แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของแอมงกานีสที่สามารถตรวจวัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .01$) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเวลา และสถานี โดยที่ความลึกของน้ำไม่มีอิทธิพลต่อความแตกต่างนี้ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณแอมงกานีสในตะกอนแขวนลอย แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแอมงกานีสในตะกอนแขวนลอยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .01$) ซึ่งปัจจัยทางด้านเวลา และสถานี เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากกว่าความลึกน้ำ

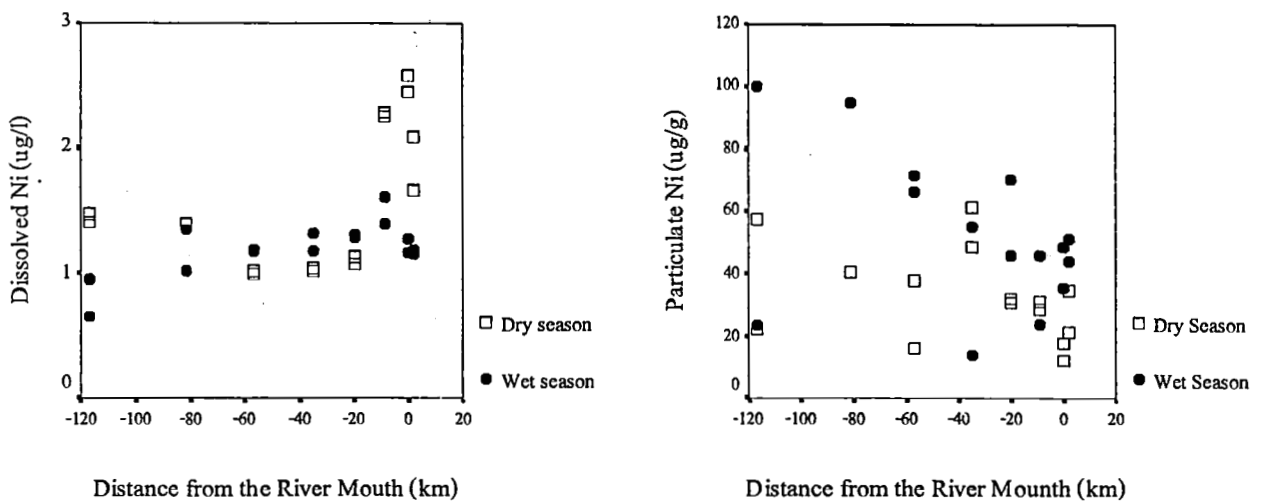


รูปที่ 3.7. แสดงความเข้มข้นของแอมงกานีสในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

3.5.5 นิเกิล

ในฤดูแล้งปริมาณความเข้มข้นของสารละลายนิเกิลมีค่าอยู่ในช่วง 1.00-2.58 $\mu\text{g l}^{-1}$ โดยสารละลายนิเกิลมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากสถานีที่ 1 ถึง 3 และค่อนข้างคงที่ในสถานีที่ 3 ถึง 5 แล้วจึงสูงขึ้นอีกครั้งในสถานีที่ 6 ถึง 8 ในฤดูฝนสารละลายนิเกิลมีค่าอยู่ในช่วง 0.65-1.60 $\mu\text{g l}^{-1}$ โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากสถานีที่ 1 ที่มีค่าต่ำสุดถึงสถานีที่ 6 แล้วจึงลดต่ำลงในสถานีที่ 7 และ 8 รูปแบบการแพร่กระจายของสารละลายนิเกิลในฤดูฝนนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับการแพร่กระจายของสารละลายเหล็กและแมงกานีสในฤดูเดียวกัน

ปริมาณนิเกิลในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 38.12-56.02 $\mu\text{g g}^{-1}$ รูปแบบการแพร่กระจายของนิเกิลในตะกอนแขวนลอยมีลักษณะคล้ายเหล็กและแมงกานีสในตะกอนแขวนลอย โดยมีค่าลดลงจากสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 3 สูงขึ้นในสถานีที่ 4 บริเวณ Turbidity Maximum Zone แล้วลดลงเรื่อยจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูฝนปริมาณนิเกิลในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 40.93-59.15 $\mu\text{g g}^{-1}$ โดยมีแนวโน้มลดลงจากสถานีที่ 1 จนถึงสถานีที่ 4 แล้วเพิ่มขึ้น โดยมีค่าค่อนข้างคงที่ในสถานีที่ 5, 6, 7 และ 8 ลักษณะเช่นนี้คล้ายกับการแพร่กระจายของปริมาณเหล็กในตะกอนแขวนลอยในฤดูเดียวกัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสารละลายนิเกิล แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของนิเกิลมีความแปรปรวนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .01$) โดยความแตกต่างดังกล่าวขึ้นอยู่กับทั้ง 3 ปัจจัย คือ เวลา สถานี และระดับความลึกของน้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณนิเกิลในตะกอนแขวนลอย แสดงให้เห็นว่าปริมาณนิเกิลในตะกอนแขวนลอยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) โดยความแตกต่างดังกล่าวขึ้นอยู่กับคือ สถานีที่ และความลึกน้ำ

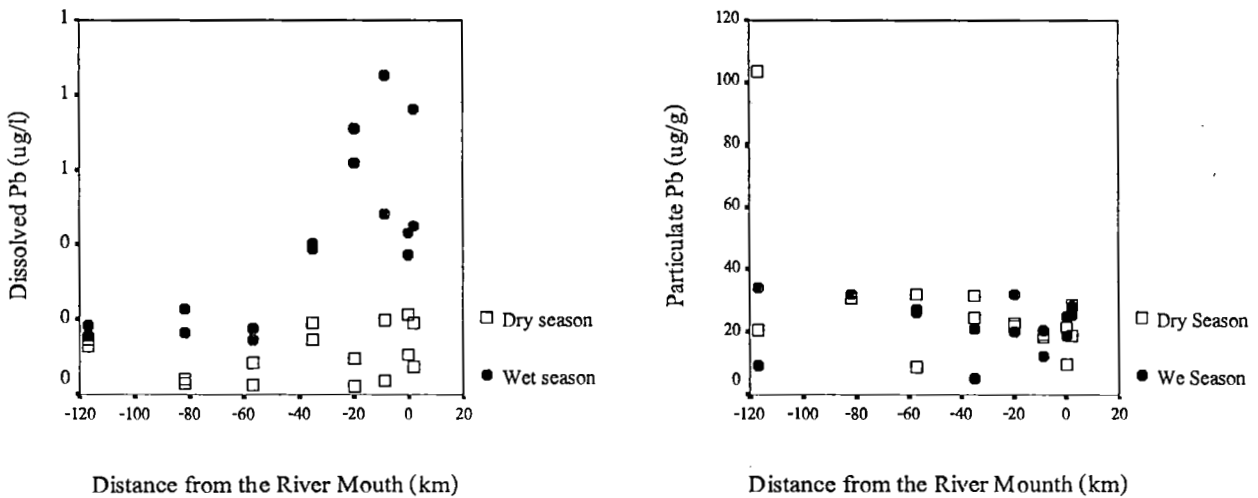


รูปที่ 3.8. แสดงความเข้มข้นของนิเกิลในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

3.5.6 ตะกั่ว

ในฤดูแล้งตรวจพบความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วระหว่าง 0.024-0.214 $\mu\text{g l}^{-1}$ การแพร่กระจายของสารละลายตะกั่วในฤดูนี้มีลักษณะที่แปรปรวนอยู่ในช่วงแคบแคบ ในฤดูฝนความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วมีค่าอยู่ในช่วง 0.148-0.855 $\mu\text{g l}^{-1}$ แนวโน้มของการแพร่กระจายมีลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นจากสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 6 หลังจากนั้นลดต่ำเล็กน้อยในสถานีที่ 7 และ 8 ลักษณะการแพร่กระจายของสารละลายตะกั่วในฤดูฝนนี้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับสารละลายแคดเมียมและเหล็กในฤดูเดียวกัน

ปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 22.42-100.99 $\mu\text{g g}^{-1}$ โดยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าที่สูงผิดปกติที่ระดับผิวน้ำในสถานีที่ 1 แล้วมีค่าค่อนข้างคงที่จนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูฝนปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอยมีค่าระหว่าง 15.68-25.62 $\mu\text{g g}^{-1}$ โดยมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะทางที่ทำการศึกษา การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสารละลายตะกั่ว แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < .01$) โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลและสถานีที่ ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอย พบว่าปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < .01$) โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล สถานีที่ และความลึกน้ำ



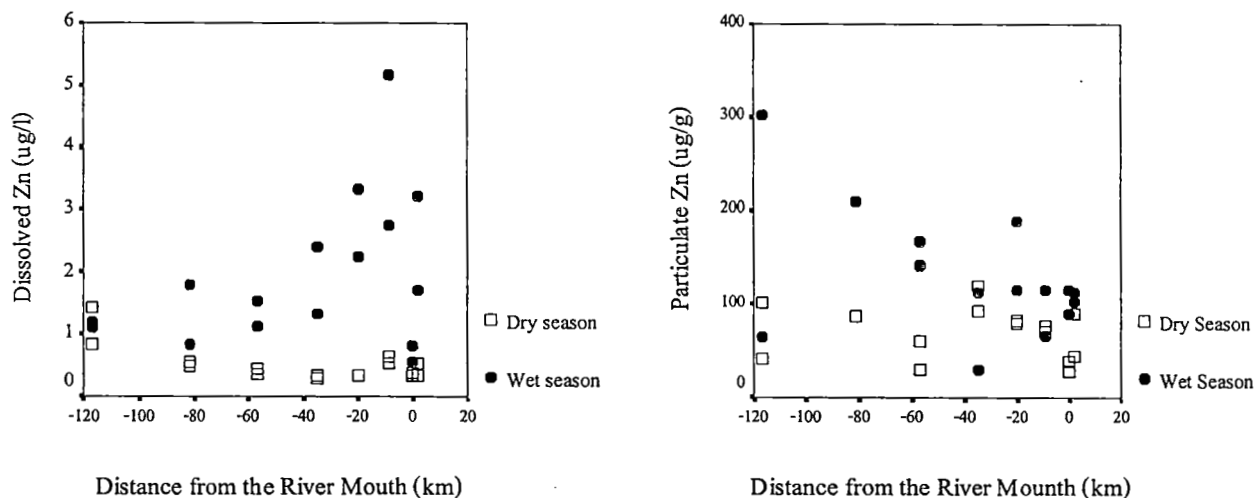
รูปที่ 3.9. แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

3.5.7 สังกะสี

ในฤดูแล้งความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีมีค่าระหว่าง 0.28 - 1.43 $\mu\text{g l}^{-1}$ ลักษณะการแพร่กระจายของสารละลายสังกะสีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากสถานีที่ 1 ถึงบริเวณปากแม่น้ำน้อยโดยยกเว้นสถานีที่ 6 ที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย โดยลักษณะเช่นนี้คล้ายกับสารละลายเหล็กในฤดูเดียวกัน สำหรับฤดูฝนความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีมีค่าระหว่าง 0.54 - 5.17 $\mu\text{g l}^{-1}$ การแพร่กระจายของสารละลายสังกะสี มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากสถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 6 แล้วจึงลดลงในสถานีที่ 7 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในสถานีที่ 8 ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูแล้งอย่างชัดเจนยกเว้นสถานีที่ 1 และสถานีที่ 7 ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้

ปริมาณสังกะสีในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีลักษณะการแพร่กระจายที่คล้ายคลึงกับปริมาณเหล็ก แมงกานีส และนิเกิลในตะกอนแขวนลอยโดยมีค่าลดลงจากสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 3 แล้วเพิ่มสูงขึ้นในสถานีที่ 4 บริเวณ Turbidity Maximum แล้วลดต่ำลงจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูฝนมีลักษณะการแพร่กระจายที่คล้ายคลึงกับปริมาณเหล็ก แมงกานีส และนิเกิลในตะกอนแขวนลอยในฤดูนี้เช่นกันโดยมีค่าลดลงจากสถานีที่ 1 จนถึงสถานีที่ 4 แล้วจึงมีค่าสูงขึ้นในสถานีที่ 5 แล้วลดลงเล็กน้อยในสถานีที่ 6, 7 และ 8

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสังกะสี แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของเวลา สถานี และระดับความลึกของน้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีในตะกอนแขวนลอย แสดงให้เห็นว่าปริมาณสังกะสีในตะกอนแขวนลอยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของเวลา สถานี และระดับความลึกของน้ำ



รูปที่ 3.10 แสดงความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำและตะกอนแขวนลอยจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง (มี.ค. 2543) และฤดูฝน (ก.ค. 2543)

ตารางที่ 3.7. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยสารละลายโลหะหนัก โดยประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยคือ ฤดู (2) สถานี (8) และความลึกน้ำ (2)

แหล่งของความแปรปรวน	df	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Season	1	14.77**	5.353*	138.6**	10.96**	237.7**	54.35**	130.8**
Season	7	3.798**	4.861**	1.624	13.24**	89.03**	4.102**	11.07**
Depth	1	4.014	0.001	0.105	0.235	8.721**	1.056	0.447
Season*Station	7	1.172	3.056*	1.208	17.40**	64.14**	3.447**	10.51**
Season*Depth	1	0.376	0.266	0.157	0.417	0.059	1.671	2.088
Station*Depth	7	1.859	0.084	0.719	0.430	2.087	0.250	3.584**
Season*Station*Depth	7	1.038	0.119	0.706	1.742	3.872**	0.985	2.458*

หมายเหตุ : * P < .05, ** P < .01

ตารางที่ 3.8. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย (ug/g) ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยคือ ฤดู (2) สถานี (8) และความลึกน้ำ (2)

แหล่งของความแปรปรวน	df	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Season	1	4.331*	2.60	272.2**	708.0**	1.009	367.5**	21.9**
Station	7	1.064	3.896**	9.354**	10.32**	12.184	34.27**	1.581
Depth	1	1.012	8.334**	0.637	31.10**	17.735	95.43**	6.905*
Season*Station	7	1.252	6.173**	6.801	32.13**	0.263	40.75**	2.448*
Season*Depth	1	2.726	2.746	23.95**	6.28*	0.432	74.17**	3.401
Station*Depth	7	0.631	5.051	1.413	2.59*	2.428*	18.91**	2.354*
Season*Station*Depth	7	0.829	0.898	3.861	0.817	0.606	14.01**	1.184

หมายเหตุ : * P < .05, ** P < .01

3.6. พฤติกรรมของ ธาตุอาหารปริมาณน้อยและโลหะหนักโดยใช้ความเค็มเป็นดัชนีบ่งชี้

การวิเคราะห์พฤติกรรมของธาตุอาหารปริมาณน้อยและโลหะหนักโดยทั่วไปมักจะทำได้โดยใช้ความเค็มเป็นดัชนีบ่งชี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในบริเวณปากแม่น้ำจะเกิดขึ้นเนื่องจากการถูกเจือจางโดยน้ำจืดจากแม่น้ำเท่านั้น หรืออีกนัยหนึ่งการเปลี่ยนแปลงความเค็มในบริเวณปากแม่น้ำมีลักษณะอนุรักษณ์ ดังนั้นสารหรือธาตุใดๆที่มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันเป็นเส้นตรงกับความเค็มจึงมีพฤติกรรมอนุรักษณ์ด้วย เนื่องจากค่าการเปลี่ยนแปลงความเค็มในแม่น้ำบางปะกงในฤดูฝนมีความเค็มต่ำมาก

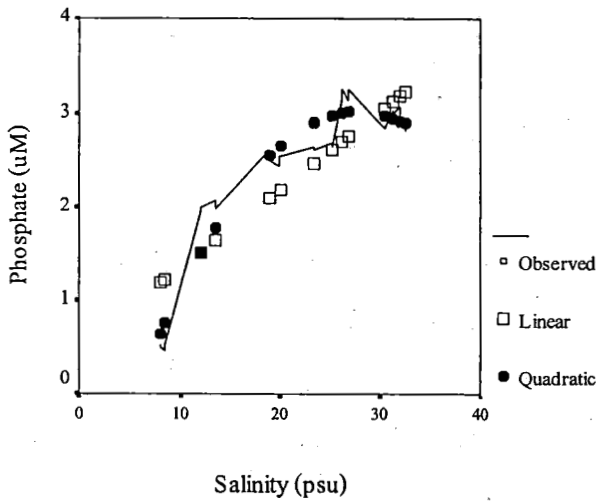
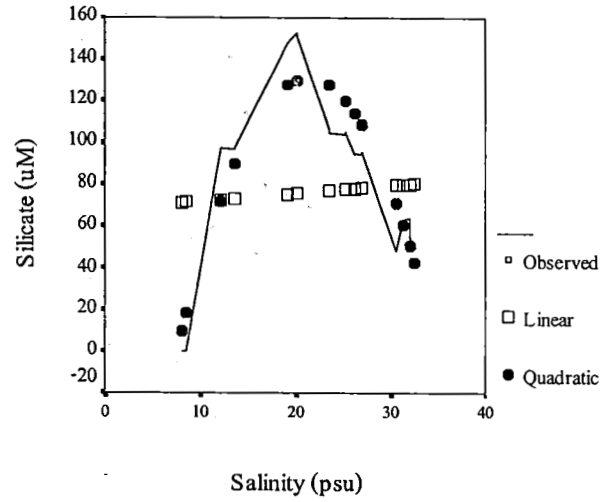
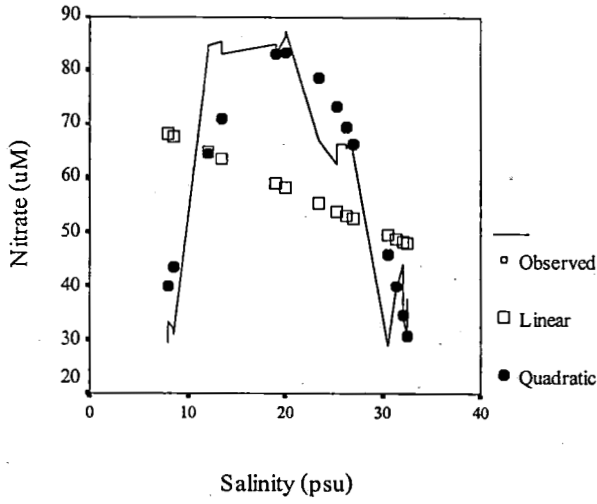
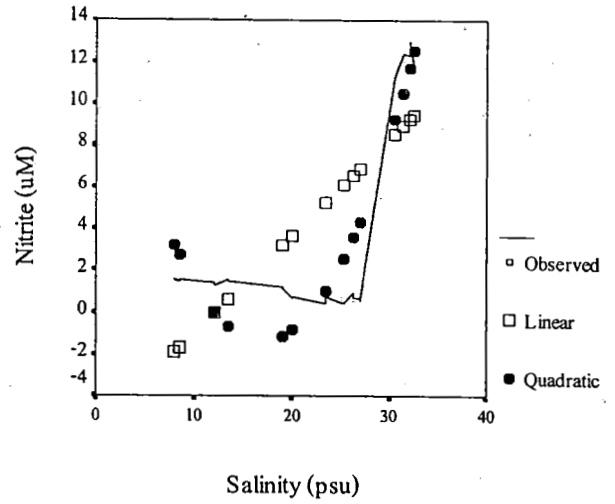
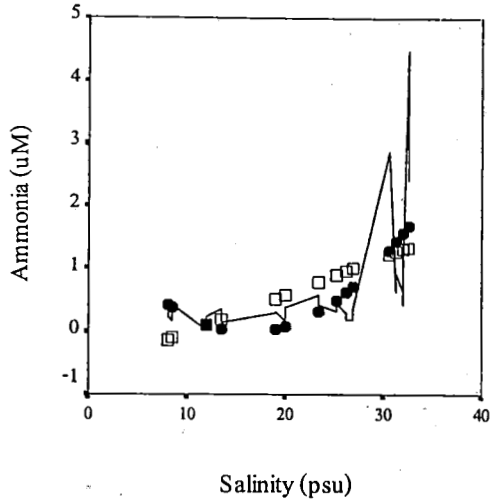
และอยู่ในช่วงที่แคบมาก (0 – 0.5 psu) เราจึงจะหาความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารปริมาณน้อยโลหะหนักละลายน้ำและโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยและความเค็มในฤดูแล้งเท่านั้น

จากกราฟรูปที่ 3.11. แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง ธาตุอาหารปริมาณน้อยกับความเค็มในฤดูแล้งมีความสัมพันธ์ในทั้งในลักษณะโค้งขึ้นและโค้งลง เมื่อทำการทดสอบ Curve fit ของค่าความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารปริมาณน้อยกับความเค็มดังแสดงในตารางที่ 3.9. แล้วจะพบว่า ความสัมพันธ์ของ ธาตุอาหารปริมาณน้อยทุกตัว มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญแบบ Quadratic หรืออาจจะสรุปได้ว่าธาตุอาหารปริมาณน้อยทุกตัวมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ (Non-Conservative) โดยมีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ แอมโมเนียและไนไตรท์ มีความสัมพันธ์ในลักษณะโค้งขึ้น (Concave) โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำที่บริเวณต้นน้ำ และความเข้มข้นสูงที่บริเวณปากแม่น้ำ ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ มีแหล่งที่มา (Sources) จากบริเวณปากแม่น้ำ จากการพิจารณากิจกรรมในพื้นที่ปากแม่น้ำพบว่ามีกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่มาก โดยพื้นที่บริเวณสถานีที่ 6-7 มีการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง ส่วนพื้นที่ด้านนอกปากแม่น้ำมีการเพาะเลี้ยงหอยนางรม และ หอยแมลงภู่เป็นส่วนใหญ่ มีการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังน่าจะเป็นแหล่งที่สำคัญของแอมโมเนียและไนไตรท์ในฤดูแล้งได้ การสูญหายของแอมโมเนียและไนไตรท์ บริเวณกลางแม่น้ำ (ระหว่างกิโลเมตรที่ 80 ถึง กิโลเมตรที่ 20) น่าจะเกิดจากขบวนการออกซิไดส์อินทรีย์สารโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน โดยมีไนเตรทเป็นผลิตภัณฑ์ ดังจะได้ว่าบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของไนเตรท

กลุ่มที่ 2 ได้แก่ ไนเตรท และ ซิลิเกต มีความสัมพันธ์ในลักษณะโค้งลง โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำที่บริเวณต้นน้ำ และบริเวณปากแม่น้ำ ความเข้มข้นสูงที่บริเวณกลางน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างไนเตรทและซิลิเกต ในลักษณะโค้งลงบริเวณระหว่างกิโลเมตรที่ 80 ถึง กิโลเมตรที่ 20 บ่งชี้ว่าในบริเวณดังกล่าวมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจน

กลุ่มที่ 3 ได้แก่ ฟอสเฟต มีความสัมพันธ์ในลักษณะโค้งลง โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำที่บริเวณต้นน้ำ และความเข้มข้นสูงที่บริเวณปากแม่น้ำ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าน่าจะมีแหล่งของฟอสเฟตในบริเวณปากแม่น้ำ



รูปที่ 3.11. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารปริมาณน้อยและความเค็มในฤดูแล้งและการทดสอบ Curve fit ระหว่าง Linear และ Quadratic โดยค่า R-Square แสดงในตารางที่ 3.9.

ตารางที่ 3.9. แสดงผลการวิเคราะห์ Curve fit ของธาตุอาหารปริมาณน้อยกับความเค็มในฤดูแล้ง ค่า R-Square ที่แสดงเป็นตัวเอียงคือค่า R-Square ที่มีการ Fit Curve ดีกว่า

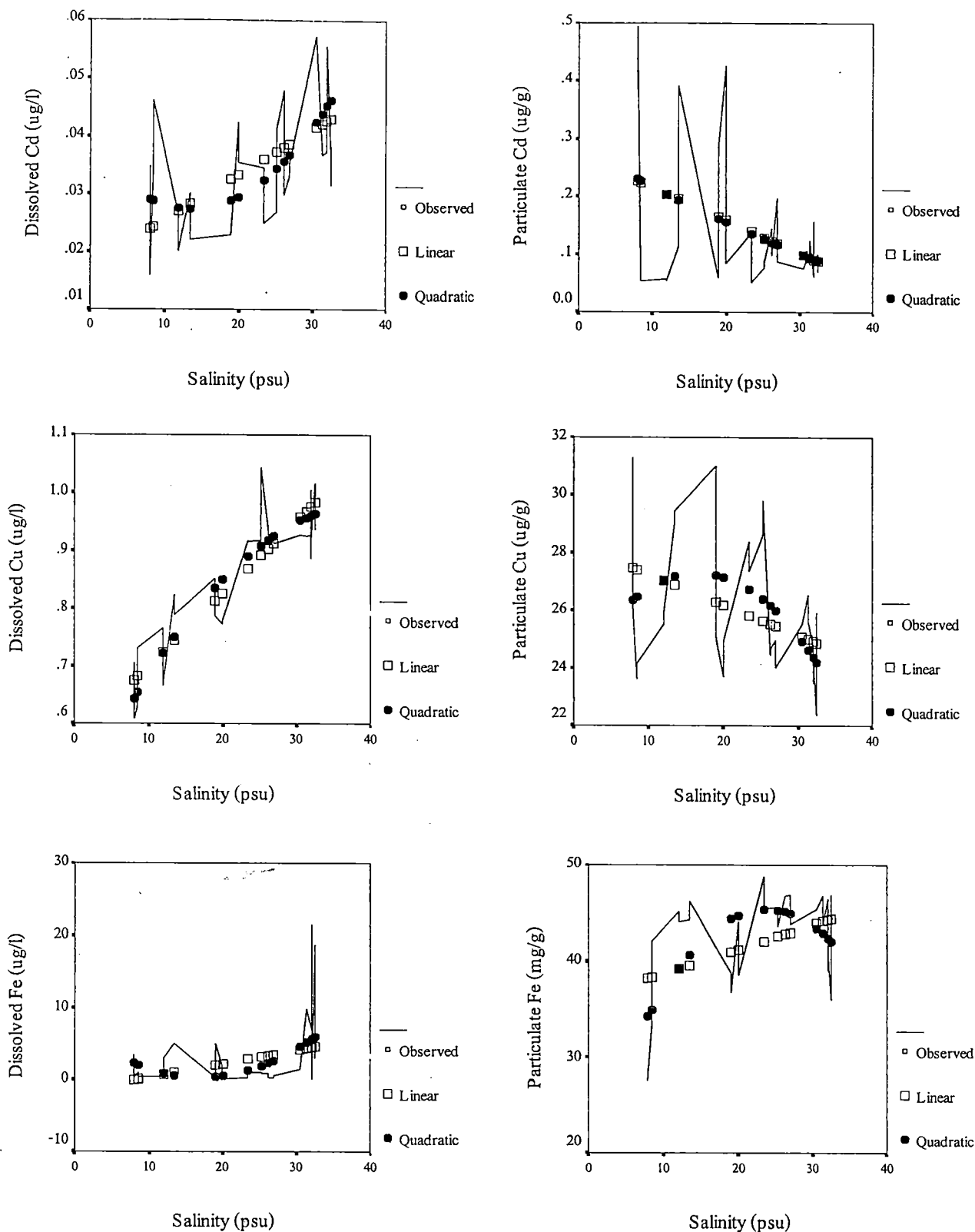
Nutrients	df Linear	R ² Linear	df Quadratic	R ² Quadratic
Ammonia	30	.263**	29	.329**
Nitrite	30	.533**	29	.884**
Nitrate	30	.133	29	.824**
Phosphate	30	.765**	29	.935**
Silicate	29	.005	29	.863**

ตารางที่ 3.10. แสดงผลการวิเคราะห์ Curve fit ของสารละลายโลหะหนัก และความเค็มในฤดูแล้ง

Dissolved Heavy metals	df Linear	R ² Linear	df Quadratic	R ² Quadratic
Cd	29	0.342**	24	.419**
Cu	29	.795**	24	.820**
Fe	29	.088	29	.154
Mn	29	.446**	24	.751**
Ni	29	.285*	24	.849**
Pb	24	.127	24	.149
Cd	25	.32**	24	.691**

ตารางที่ 3.11. แสดงผลการวิเคราะห์ Curve fit ของปริมาณโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย และความเค็มในฤดูแล้ง

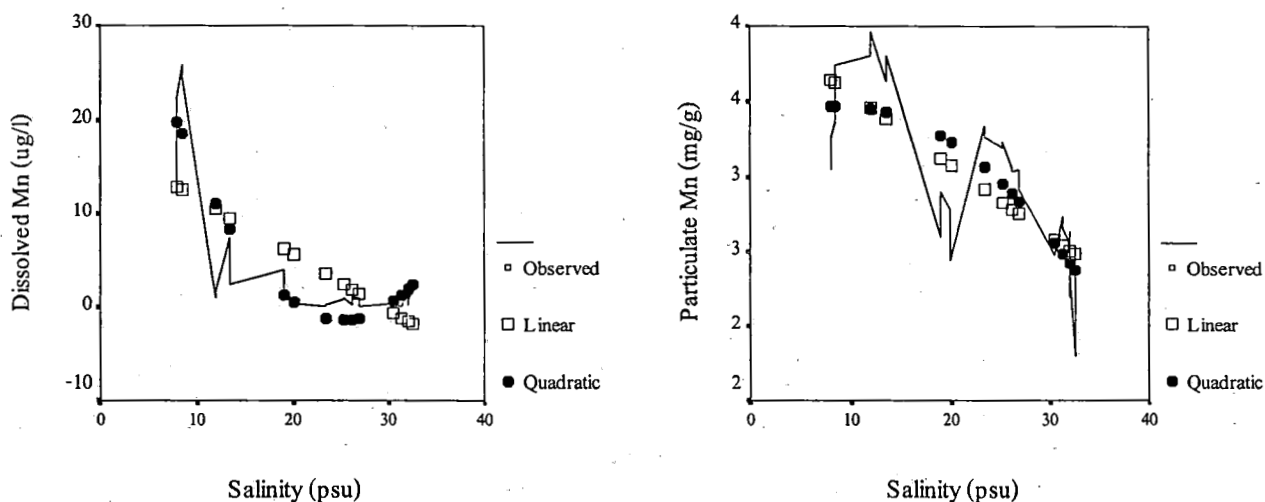
Dissolved Heavy metals	df Linear	df Linear	df Quadratic	R ² Quadratic
Cd	25	.169*	24	.17
Cu	25	.153*	24	.242
Fe	25	.167*	24	.386**
Mn	25	.580**	24	.624**
Ni	25	.360**	29	.388**
Pb	25	.192*	24	.423**
Zn	25	.038	24	.041



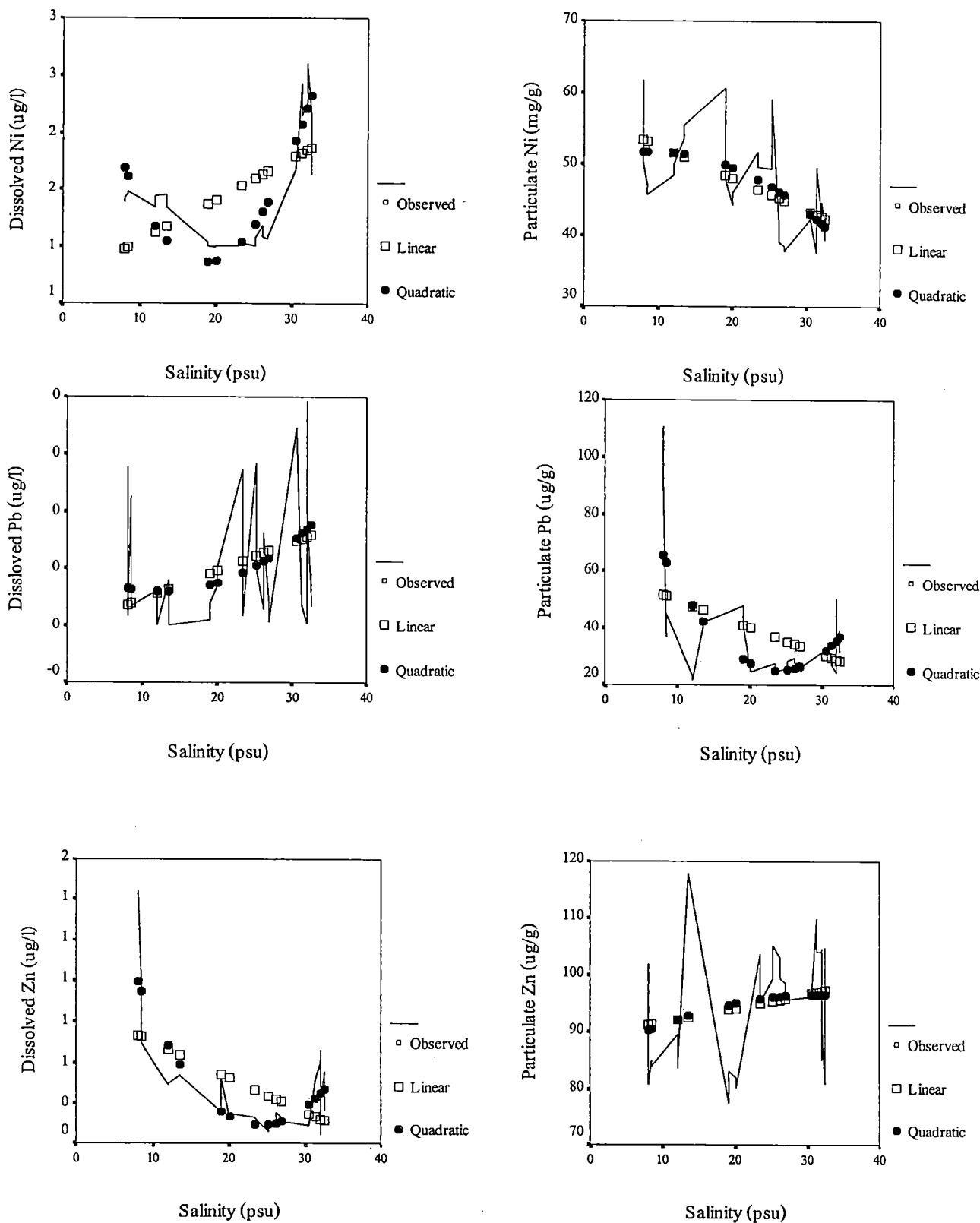
รูปที่ 3.12. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลหะ Cd, Cu และ Fe ในสารละลายและตะกอนแขวนลอยกับความเค็มในฤดูแล้งและการทดสอบ Curve fit ระหว่าง Linear และ Quadratic โดยค่า R-Square แสดงในตารางที่ 3.9.

กราฟรูปที่ 3.12 และ 3.13. จะเห็นได้ว่าสารละลาย Cd, Cu, Fe และ Pb มีความสัมพันธ์ที่เกือบจะเป็นเส้นตรงกับความเค็ม โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเค็ม ส่วนสารละลาย Mn และ Zn มีแนวโน้มลดลงแบบ Exponential หรือมีเส้นกราฟความสัมพันธ์แบบโค้งงอ โดยมีค่าความเข้มข้นสูงที่บริเวณต้นน้ำ ส่วนสารละลาย Ni มีเส้นกราฟความสัมพันธ์แบบโค้งงอ เช่นกันแต่มีความเข้มข้นสูงอยู่บริเวณปากแม่น้ำ เมื่อทำการทดสอบ Curve fit ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายของโลหะหนักกับความเค็ม (ตารางที่ 3.7. และ 3.8.) แล้วจะพบว่า ความสัมพันธ์ของสารละลาย Cd, Cu, Mn, Ni และ Zn มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญแบบ Quadratic ที่น่าเชื่อถือมากกว่าความสัมพันธ์แบบ Linear ส่วนสารละลาย Fe และ Pb ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทั้งสองแบบ

ในลักษณะเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยกับความเค็ม ดังแสดงในรูปที่ 3.12, 3.13. และ 3.14 พบว่าปริมาณโลหะ Cd, ในตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์ที่เกือบจะเป็นเส้นตรงกับความเค็ม โดยมีแนวโน้มลดลงตามความเค็มที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปในทิศทางตรงข้ามกับส่วนของสารละลาย ปริมาณ Zn มีความสัมพันธ์ที่เกือบจะเป็นเส้นตรงกับความเค็ม โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเค็มที่เพิ่มขึ้น ในตะกอนแขวนลอย ส่วนปริมาณ Cu, Mn และ Ni ในตะกอนแขวนลอยมีเส้นกราฟความสัมพันธ์แบบโค้งงอ (Concurve) โดยมีค่าความเข้มข้นสูงที่บริเวณต้นน้ำและลดลงบริเวณปากแม่น้ำ ปริมาณ Fe ในตะกอนแขวนลอยมีเส้นกราฟความสัมพันธ์แบบโค้งงอ (Concurve) เช่นกันแต่มีค่าความเข้มข้นสูงที่บริเวณปากแม่น้ำ ปริมาณ Pb ในตะกอนแขวนลอยมีเส้นกราฟความสัมพันธ์แบบโค้งงอ (Concave) โดยมีความเข้มข้นสูงอยู่บริเวณต้นน้ำ เมื่อทำการทดสอบ Curve fit ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายของโลหะหนักกับความเค็ม (ตารางที่ 3.8.) แล้วจะพบว่า ความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะ Fe, Mn, Ni และ Pb มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญแบบ Quadratic ในขณะที่โลหะ Cd, Cu และ Zn ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทั้งสองแบบ



รูปที่ 3.13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลหะ Mn ในสารละลายและตะกอนแขวนลอยกับความเค็มในฤดูแล้ง และการทดสอบ Curve fit ระหว่าง Linear และ Quadratic โดยค่า R-Square แสดงในตารางที่ 3.9.



รูปที่ 3.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลหะ Ni, Pb และ Zn ในสารละลายและตะกอนแขวนลอยกับความเค็มในฤดูแล้งและการทดสอบ Curve fit ระหว่าง Linear และ Quadratic โดยค่า R-Square แสดงในตารางที่ 3.9.

3.7. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 3.12. และ 3.13. แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ระหว่างคุณภาพน้ำ ธาตุอาหารปริมาณน้อย สารละลายโลหะหนัก และปริมาณโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้ง และ ฤดูฝน ตามลำดับ โดยสามารถสรุปผลจากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ดังนี้

- 3.7.1. สารละลายแคดเมียม ในฤดูแล้ง Cd มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรที่ และสารละลายทองแดง และสารละลายนิกเกิล และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับไนเตรท และสารละลายแมงกานีส ปริมาณ Cd ในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้ง มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนแขวนลอย และปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอย ส่วนในฤดูฝน Cd มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับฟอสเฟต และสารละลายสังกะสี และปริมาณ Cd ในตะกอนแขวนลอย มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความเค็ม
- 3.7.2. สารละลายทองแดง ในฤดูแล้ง Cu มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ไนโตรที่ ฟอสเฟต และสารละลายแคดเมียม และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ POC สารละลายแมงกานีส และ สังกะสี และปริมาณ Mn ในตะกอนแขวนลอย ปริมาณ Cu ในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณ Ni ในตะกอนแขวนลอย และ มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความเป็นกรด-ด่าง ในฤดูฝน สารละลาย Cu มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับแอมโมเนียสารละลาย Ni, Pb, และ Zn แต่ไม่พบความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับปัจจัยใด ปริมาณ Cu ในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ ไนเตรท ปริมาณ Fe, Pb และ Zn ในตะกอนแขวนลอย
- 3.7.3. สารละลายเหล็ก ในฤดูแล้ง Fe มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ แอมโมเนีย และไนโตรที่ ปริมาณ Fe ในตะกอนแขวนลอยในฤดูแล้งมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณตะกอนแขวนลอย ฟอสเฟต และ ปริมาณ Zn ในตะกอนแขวนลอย และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ POC สารละลาย Mn และ Zn และ ปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอย ในฤดูฝน Fe มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวก สารละลาย Mn โดยไม่พบความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับปัจจัยใดในทั้งสองฤดู ส่วนปริมาณ Fe ในตะกอนแขวนลอยในฤดูฝนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณ Cu, Pb และ Zn ตะกอนแขวนลอย
- 3.7.4. สารละลายแมงกานีส ในฤดูแล้ง Mn มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ POC สารละลาย Zn ส่วนปริมาณ Mn ในตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ ความเค็ม ปริมาณตะกอนแขวนลอย ฟอสเฟต ซิลิเกต สารละลาย Cu และ ปริมาณ Fe ในตะกอนแขวนลอย ในฤดูฝน Mn มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับสารละลาย Pb และมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงลบกับไนโตรที่ ส่วนปริมาณ Mn ในตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้ม

ตารางที่ 3.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลาย (ug/l) และในตะกอนแขวนลอย (ug/g) ในฤดูแล้ง

	Sal	DO	PH	SS	POC	NH3	NO2	NO3	PO4	SiO2	D.Cd	D.Cu	D.Fe	D.Mn	D.Ni	D.Pb	D.Zn	P. Cd	P.Cu	P.Fe	P.Mn	P.Ni	P.Pb	P.Zn
Sal	1.000																							
DO	.386*	1.000																						
PH	.892**	.724**	1.000																					
SS	.381*	-.142	.259	1.000																				
POC	-.655**	.148	-.413*	-.448	1.000																			
NH3	.513**	.628**	.626**	-.234	-.187	1.000																		
NO2	.730**	.535**	.804**	-.101	-.284	.593**	1.000																	
NO3	.336	-.885**	-.659**	.195	-.234	-.497**	-.686**	1.000																
PO4	.875**	-.014	.629**	.553**	-.786**	.266	.411*	.137	1.000															
SiO2	.074	-.785**	-.348	.298	-.494**	-.286	-.411*	.883**	.490**	1.000														
D.Cd	.529**	.405*	.605**	.068	-.292	.312	.556**	-.506**	.302	-.267	1.000													
D. Cu	.888**	.363*	.767**	.348	-.634**	.465**	.503**	-.177	.829**	.166	.469**	1.000												
D. Fe	.346	.267	.344	-.048	-.100	.497**	.497**	-.280	.187	-.163	-.061	.251	1.000											
D.Mn	-.692	.263	-.376*	-.416*	.646**	-.179	-.236	-.392*	-.897**	-.669	-.157	-.682**	-.127	1.000										
D. Ni	.549**	.468**	.674**	-.152	-.170	.401*	.931**	-.686**	.234	-.517**	.538**	.340	.332	-.057	1.000									
D. Pb	.167	.305	.238	-.150	.150	.072	.223	-.363*	.000	-.243	.413*	.156	.087	-.008	.202	1.000								
D. Zn	-.533**	.156	-.284	-.375*	.845**	-.084	-.048	-.310	-.755**	-.576**	-.359	-.629**	.132	.799**	.100	-.113	1.000							
P. Cd	-.411*	-.175	-.397	-.223	.508**	-.240	-.280	.098	-.401*	-.026	-.275	-.445*	-.055	.232	-.240	-.089	.405*	1.000						
P. Cu	-.392*	-.274	-.480**	-.171	.355*	-.342	-.435*	.342	-.245	.207	-.437*	-.152	-.132	.032	-.431*	.060	-.114	.208	1.000					
P. Fe	.409*	-.217	.235	.606**	-.727**	-.101	.035	.340	.620**	.434*	.131	.453	.060	-.592**	-.071	-.073	-.664**	-.417*	.000	1.000				
P.Mn	-.761**	-.415*	-.703**	.034	.279	-.633**	-.718**	.468**	-.533**	.072	-.509**	-.594**	-.329	.354	-.559**	-.196	.222	.158	.437*	.190	1.000			
P. Ni	-.600**	-.346	-.661**	-.438*	.514**	-.337	-.467**	.321	-.501**	.133	-.418*	-.354	-.142	.226	-.388*	.027	.157	.282	.828**	-.316	.442*	1.000		
P. Pb	-.438*	.275	-.211	-.525**	.812**	-.069	-.061	-.368*	-.628**	-.520**	-.115	-.405*	-.089	.555**	.059	.133	.656**	.608**	.327	-.784**	-.061	.425*	1.000	
P. Zn	.194	.061	.188	.316	-.119	-.115	.090	.014	.239	-.032	.028	.303	.245	-.224	.072	.142	-.235	.001	.417*	-.528**	.245	.071	-.120	1.000

ตารางที่ 3.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและปริมาณ โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลาย (ug/l) และในตะกอนแขวนลอย (ug/g) ในฤดูฝน

	Sal	DO	PH	SS	POC	NH3	NO2	NO3	PO4	SiO2	D.Cd	D.Cu	D.Fe	D.Mn	D.Ni	D.Pb	D.Zn	P. Cd	P.Cu	P.Fe	P.Mn	P.Ni	P.Pb	P.Zn
Sal	1.000																							
DO	.344	1.000																						
PH	.260	.845**	1.000																					
SS	.142	.446*	.278	1.000																				
POC	.146	-.502**	-.567**	-.188	1.000																			
NH3	-.068	.243	.269	.145	-.176	1.000																		
NO2	.305	.659**	.683**	.315	-.280	.252	1.000																	
NO3	.279	.630**	.462**	.125	-.398*	.243	.364*	1.000																
PO4	.126	.602**	.684**	.243	-.497**	.546**	.703**	.288	1.000															
SiO2	.039	.017	.233	-.009	.027	.063	.455**	-.151	.373*	1.000														
D.Cd	-.071	.144	.241	.021	-.126	.425*	.396*	.072	.531**	.393*	1.000													
D. Cu	-.120	.053	.351*	-.068	-.231	.480**	.160	.176	.431*	.431*	.423*	1.000												
D. Fe	-.071	-.300	-.137	-.271	-.178	.275	-.292	-.026	-.055	.019	.221	.241	1.000											
D.Mn	-.197	-.429*	-.410*	-.280	-.045	.214	-.494**	-.169	-.273	-.121	-.046	-.024	.730**	1.000										
D. Ni	.083	.345	.525**	-.005	-.512**	.549**	.213	.220	.633**	.361*	.280	.487**	.351*	.332	1.000									
D. Pb	-.033	.457**	.665**	.052	-.400*	.268	.504**	.327	.573**	.452**	.289	.619**	.136	-.231	.430*	1.000								
D. Zn	-.354	-.127	.105	.034	-.092	.498**	-.040	-.112	.485**	.336	.462**	.671**	.328	.116	.539**	.402*	1.000							
P. Cd	.614**	.213	.108	.097	.147	-.023	.237	.166	.008	.030	-.152	-.066	-.219	-.300	-.129	-.041	-.263	1.000						
P. Cu	.038	.382*	.259	.236	-.096	.317	.276	.474**	.201	.205	.132	.180	.099	-.186	.161	.303	.323	.109	1.000					
P. Fe	-.119	.042	.086	-.046	.013	.109	-.093	.115	-.051	.232	-.036	.263	.030	-.025	.217	.311	.345	-.107	.576**	1.000				
P.Mn	.301	.444*	.257	.696**	-.093	.101	.582**	.174	.280	-.038	.090	-.163	-.300	-.444*	-.222	.093	-.098	.338	.224	-.257	1.000			
P. Ni	-.228	-.256	-.444*	-.052	.323	-.167	-.433*	-.018	-.512**	-.074	-.411*	-.352*	.017	.416*	-.028	-.372*	-.094	-.195	.244	.481**	.246	1.000		
P. Pb	.110	.682**	.562**	.350*	-.315	.094	.670**	.515**	.456**	.239	.157	-.076	-.253	-.272	.261	.377*	-.018	.087	.511**	.243	.437**	.130	1.000	
P. Zn	-.111	-.273	-.388*	-.226	.283	-.014	-.360*	.100	-.381*	.040	-.134	-.109	.152	.219	-.011	-.289	.118	-.058	.516**	.521**	-.386*	.648**	.025	1.000

ความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ ปริมาณตะกอนแขวนลอย ไนไตรท์ ปริมาณนิเกิลและสังกะสีใน ตะกอนแขวนลอย

- 3.7.5. สารละลายนิเกิล ในฤดูแล้ง Ni มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ไนไตรท์ และสารละลาย Cd และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ ไนเตรท ซิลิเกต และปริมาณ Mn ในตะกอนแขวนลอย ปริมาณ Ni ในตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ POC ปริมาณ Cu ในตะกอนแขวนลอย และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ไนไตรท์ และ ฟอสเฟต ในฤดูฝน Ni มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความ เป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ฟอสเฟต และสารละลาย Cu และ Zn ความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ POC ปริมาณ Ni ในตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ ปริมาณ Fe และ Zn ใน ตะกอนแขวนลอย และ มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ ฟอสเฟต
- 3.7.6. สารละลายตะกั่ว ในฤดูแล้ง Pb ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปัจจัยใด ส่วนปริมาณ Pb ในตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ POC สารละลาย Mn Zn และ Cd และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ ปริมาณตะกอนแขวนลอย ฟอสเฟต ซิลิเกต และปริมาณ Fe ใน ตะกอนแขวนลอย ในฤดูฝน Pb มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ ปริมาณออกซิเจน ละลายน้ำความเป็นกรด-ด่าง ไนไตรท์ ฟอสเฟต และสารละลาย Cu
- 3.7.7. สารละลายสังกะสี ในฤดูแล้ง Zn มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ POC สารละลาย Mn และ ปริมาณ Pb ในตะกอนแขวนลอย ส่วนปริมาณ Zn ในตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ ความเค็ม ฟอสเฟต ซิลิเกต และสารละลาย Cu และ ปริมาณ Fe ในตะกอนแขวนลอย ในฤดูฝน Zn มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ แอมโมเนีย ฟอสเฟต สารละลาย Cd, Cu และ Ni ส่วนปริมาณ Zn ในตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ ปริมาณ Cu, Pb และ Ni

3.8. สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโลหะหนัก (Distribution coefficient; K_D)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโลหะหนักเป็นค่าบ่งชี้ถึงอัตราส่วนการดูดซับของโลหะ บนตะกอนแขวนลอยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่มีอยู่ในน้ำที่แวดล้อม สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$K_D = P/C$$

โดย K_D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโลหะหนัก

P = ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

C = ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ($\mu\text{g l}^{-1}$)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโลหะหนักที่คำนวณได้ในทุกสถานีถูกแสดงไว้ในรูปที่

3.15 สำหรับฤดูแล้งและ รูปที่ 3.16 สำหรับฤดูฝน จากรูปดังกล่าวสามารถเห็นได้ชัดเจนว่าค่า K_D ของ Fe, Mn, Zn, Pb ในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน ส่วนโลหะ Cd, Cu, Ni มีค่าใกล้เคียงกันระหว่างสองฤดู แนวโน้มการแพร่กระจายค่า K_D ของ โลหะ Fe, Mn, และ Zn ในฤดูแล้งมีแนวโน้มเพิ่มค่าขึ้นจากสถานี

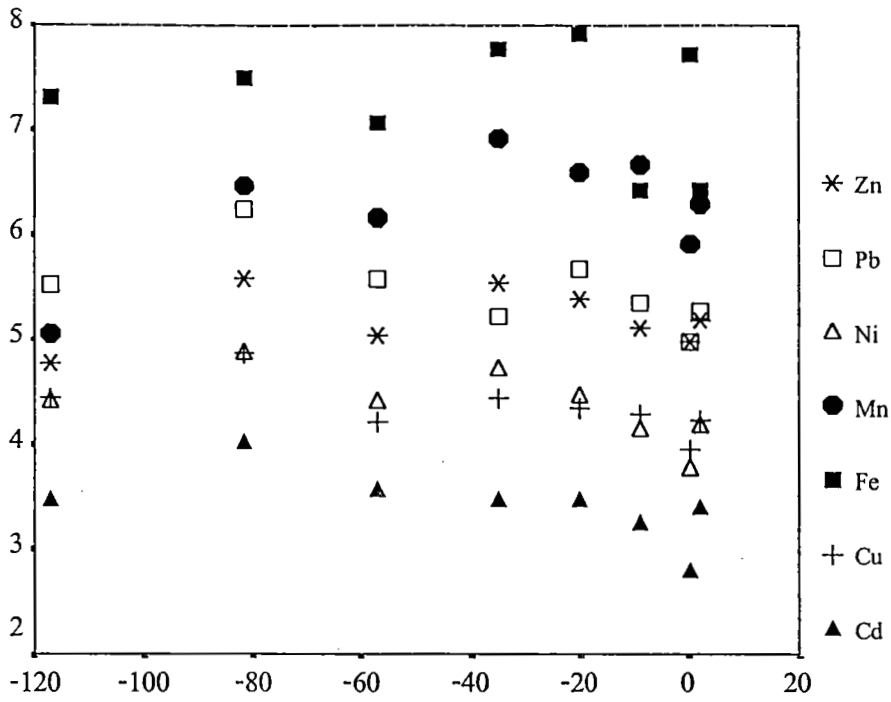
ต้นน้ำไปสถานีบริเวณปากแม่น้ำ ส่วนโลหะ Cd, Cu, Ni มีแนวโน้มลดค่าลงจากสถานีต้นน้ำไปสถานีบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูฝนไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน ยกเว้น Mn ที่มีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในสถานีที่ 7 และ 8 บริเวณปากแม่น้ำ

เมื่อจัดลำดับค่า K_D ในทั้งสองฤดูจะพบว่า ในฤดูแล้ง $Fe > Mn > Pb > Zn > Ni > Cu > Cd$ ส่วนในฤดูฝน $Fe > Mn > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd$ จะเห็นว่าลำดับของค่า K_D ในทั้งสองฤดูมีความคล้ายคลึงกันมากโดยมีความแตกต่างกันเล็กน้อยที่ลำดับของ Pb และ Zn (ตารางที่ 3.14)

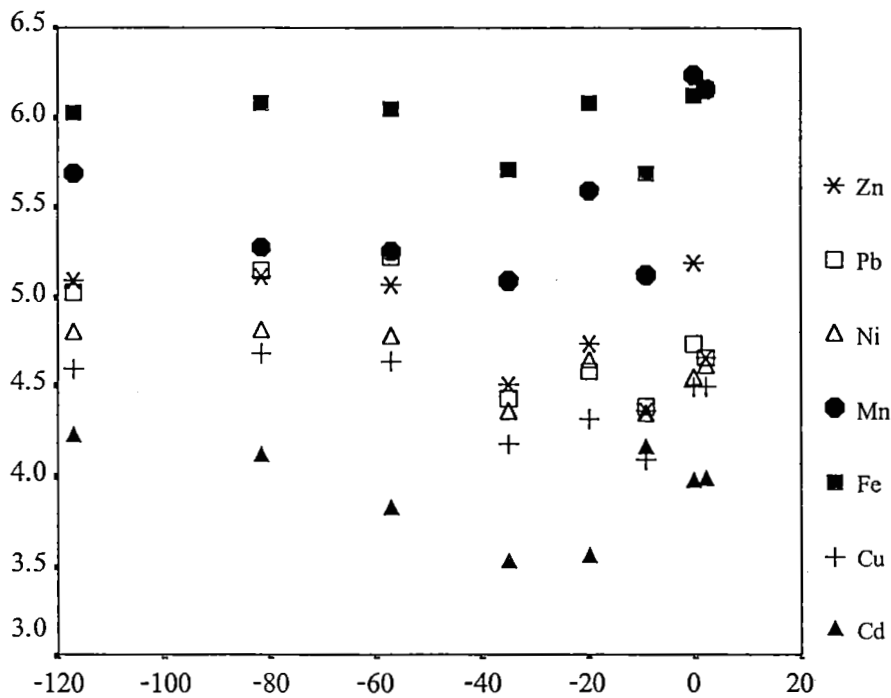
การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ ค่า K_D ในทั้งสองฤดู ทุกสถานีและสองระดับความลึก พบว่า โลหะ Fe และ Cd มีความแตกต่างระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < .01$) โลหะ Pb มีความแตกต่างระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .05$) โลหะ Cu และ Ni มีความแตกต่างระหว่างฤดูและสถานีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < .01$) โดยในกรณีของ Cu ปัจจัยหลักที่เป็นตัวกำหนดความแตกต่างคือ สถานี ในส่วนของโลหะ Mn และ Zn ค่าความแปรปรวนของ K_D มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < .05$) และ มีนัยสำคัญยิ่ง ($P < .01$) ตามลำดับโดยมีปัจจัย ฤดูกาล สถานี และ ความลึกเป็นตัวกำหนด (ตารางที่ 3.15)

ตารางที่ 3.14. แสดงค่า $\text{Log}_{10}K_D$ ในฤดูแล้งและฤดูฝน ในแม่น้ำบางปะกง

$\text{Log}_{10}K_D$	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย+SD	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย+SD
Cd	2.63-4.10	3.42+0.42	3.25-4.32	3.92+0.30
Cu	3.89-5.28	4.34+ 0.32	3.84-4.48	4.44+0.27
Fe	6.25-8.15	7.27+0.62	5.45-6.33	5.99+0.25
Mn	4.85-7.3	6.25+0.69	4.93-6.66	5.55+0.47
Ni	3.70-5.27	4.36+0.39	4.08-5.02	4.61+0.23
Pb	4.96-6.59	5.48+0.49	4.13-5.29	4.77+0.35
Zn	4.69-5.96	5.20+0.33	4.09-5.40	4.84+0.38



รูปที่ 3.15 แสดงค่า $\text{Log}_{10}K_D$ ของโลหะที่ทำการศึกษาตามระยะทางจากต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง



รูปที่ 3.16. แสดงค่า $\text{Log}_{10}K_D$ ของโลหะที่ทำการศึกษาตามระยะทางจากต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูฝน

ตารางที่ 3.15. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโลหะหนัก (K_p) โดยประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยคือ ฤดู (2) สถานี (8) และความลึกน้ำ (2)

แหล่งของความแปรปรวน	df	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Season	1	9.631**	2.773	23.34**	28.55**	35.07**	6.330*	44.57**
Station	7	1.822	16.85**	1.955	2.378*	28.19**	0.511	14.97**
Depth	1	0.241	1.014	1.434	0.555	1.233	0.171	3.540
Season*Station	7	1.822	4.49**	1.942	3.089*	11.73**	0.514	11.29**
Season*Depth	1	4.038	0.248	1.458	0.827	0.204	0.180	2.161
Station*Depth	7	1.332	0.910	0.135	3.223*	0.534	0.180	3.196*
Season*Station*Depth	7	1.711	0.741	0.139	2.865*	0.720	0.764	4.25**

หมายเหตุ : * $P < .05$, ** $P < .01$

บทที่ 4

อภิปรายผล

4.1. คุณภาพน้ำโดยทั่วไป

โดยทั่วไปแล้ว อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าสูงขึ้นตามระยะทางจากต้นน้ำสู่ปากแม่น้ำในทั้งสองฤดู ส่วนปริมาณสารแขวนลอยมีค่าสูงสุดที่สถานีที่ 5 และ 6 ในฤดูแล้ง ส่วนในฤดูฝนมีค่าสูงสุดที่สถานีที่ 7 และ 8 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำในฤดูแล้งและฤดูฝนมีความแตกต่างกัน ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน หรือคุณภาพน้ำโดยทั่วไปของแม่น้ำบางปะกงไม่แตกต่างจากที่เคยมีผู้ศึกษามาก่อนหน้านี้ (ตารางที่ 4.1) นอกจากนี้ยังพบว่าและคุณภาพน้ำของแม่น้ำบางปะกงยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าค่ามาตรฐานของแหล่งน้ำประเภทที่ 3 (เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ยกเว้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบางสถานีเท่านั้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์ในสถานีที่ 2 และ 3 ในฤดูแล้ง ปัจจัยที่ควบคุมคุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงได้แก่ ปริมาณน้ำท่า น้ำขึ้นน้ำลง ปริมาณอินทรีย์สาร นอกจากนี้ น้ำหล่อเย็นจากโรงไฟฟ้าบางปะกงก็น่าจะมีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำมีค่าน่าสูงในสถานีที่ 4 5 และ 6 อย่างไรก็ตามสามารถอภิปรายผลจากการศึกษาในครั้งนี้โดยสรุปได้ดังนี้

4.1.1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำบางปะกงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณต้นน้ำ ไปยังปากแม่น้ำในทั้ง 2 ฤดู แต่ในฤดูแล้งอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำบางปะกงจะสูงกว่าในฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากในฤดูฝนน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำจากบริเวณต้นน้ำไหลซึมออกมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำลงสู่แม่น้ำบริเวณสถานีที่ 4, 5 และ 6 เป็นบริเวณที่อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัดในทั้ง 2 ฤดู ซึ่งน่าจะเกิดจากอิทธิพลของโรงไฟฟ้าบางปะกงซึ่งตั้งอยู่ระหว่างสถานีที่ 5 และ 6 โดยเฉพาะในฤดูแล้งมีการแลกเปลี่ยนมวลน้ำระหว่างแม่น้ำและทะเลน้อย อุณหภูมิของน้ำในบริเวณนั้นมีค่าสูงถึง 33 °C ซึ่งสูงกว่าที่มีการตรวจวัดได้ในแม่น้ำสายต่างๆ (สุธรรม สิทธิชัยเกษม และ สมยศ สิทธิโชคชัย, 2527) นอกจากนี้การสำรวจแต่ละครั้งจะเริ่มจากสถานีต้นน้ำที่เวลาประมาณ 07.30 น. และเก็บตัวอย่างเรื่อยลงมาเป็นลำดับจนถึงจุดสุดท้ายบริเวณปากแม่น้ำที่เวลาประมาณ 16.00 น. ซึ่งอาจเป็นเหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้ผลการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากต้นน้ำสู่ปากแม่น้ำ

4.1.2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในสถานีที่ 2 และ 3 ในฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 3 (มาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ, 2540) บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีประชากรอยู่หนาแน่น และมีกิจกรรมอุตสาหกรรมการเกษตรมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 02/025)

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าต่ำสุด-สูงสุด ของคุณภาพน้ำโดยทั่วไปในแม่น้ำบางปะกงระหว่างการศึกษาคั้งนี้กับการศึกษาที่ผ่านมา

พารามิเตอร์	มี.ค 43 ¹	ก.ค 43 ¹	มี.ค 39 ²	ก.ค 39 ²	ม.ค 38 ³	มี.ค 36 ⁴	ส.ค 35 ⁴
อุณหภูมิ (°C)	29-33	29-31	27-32	27-28.4	27.2-34.4	29.2-33	27.2-32
ความเค็ม (psu)	8.0-32.5	0-0.5	11-34	0-4	0-21.8	8.5-31	0-0.9
ความเป็นกรด-ด่าง	7.2-7.7	6.0-7.0	7.3-7.8	6.6-7.8	-	6.9-7.2	6.2-6.9
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg l ⁻¹)	2.9-7.1	4.4-6.4	4.4-7.6	4.0-6.7	2.0-5.9	2.8-5.6	3.1-5.6
ตะกอนแขวนลอย (mg l ⁻¹)	20-597	31-397	2-64	4-182	6.7-444	80-590	50-260

หมายเหตุ 1. การศึกษาคั้งนี้ 2. กรมเจ้าท่า (2539) 3. Pollution control department (1998)

4. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537 - ไม่มีข้อมูล

มีการปล่อยน้ำทิ้งที่มีค่า BOD สูงสู่แหล่งน้ำ โดยบริษัทคอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2538) ได้ประมาณค่าความสกปรกในรูปของ BOD ที่เกิดจากการระบายน้ำทิ้งลงแม่น้ำบางปะกงของแหล่งชุมชนบริเวณเทศบาลตำบลบางคล้า และเทศบาลเมืองฉะเชิงเทราไว้เท่ากับ 906 และ 7,513 กิโลกรัมต่อวัน การเปิดใช้เขื่อนทดน้ำบางปะกงซึ่งตั้งอยู่ระหว่างสถานีที่ 2 และ 3 ทำให้การถ่ายเทน้ำเป็นไปได้อย่าง จึงน่าจะทำให้อินทรีย์สารที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเกิดการสะสมในบริเวณดังกล่าว จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในการออกซิไดซ์อินทรีย์สาร ประกอบกับในระยะเวลาดังกล่าวเป็นฤดูแล้งมีการแลกเปลี่ยนมวลน้ำระหว่างแม่น้ำและทะเลน้อยเนื่องจากปริมาณน้ำท่าต่ำ (กรมเจ้าท่า, 2539; Boonphakdee et al., 1999) ทำให้ไม่มีออกซิเจนละลายน้ำใหม่เข้าไปแทนที่ แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณต้นน้ำ ไปยังปากแม่น้ำในทั้ง 2 ฤดูที่น่าจะเกิดจากการผสมผสานของน้ำแม่น้ำกับน้ำทะเลซึ่งมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าน้ำในแม่น้ำ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พบทั่วไปในแม่น้ำสายต่างๆ (Duinker et al., 1982; Baeyens et al., 1998)

4.1.3. ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในแม่น้ำบางปะกงมีลักษณะที่ปกติคือค่อยๆเพิ่มขึ้นจากบริเวณต้นน้ำ ไปยังปากแม่น้ำในทั้ง 2 ฤดู เนื่องจากการผสมผสานของน้ำจืดและน้ำทะเลที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าน้ำจืด ในฤดูฝนความเป็นกรด-ด่างของน้ำในแม่น้ำบางปะกงจะต่ำกว่าในฤดูแล้ง ซึ่งน่าจะเกิดจากสาเหตุสองประการคือน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่แม่น้ำในฤดูฝนจะชะล้างดินโดยดินบริเวณทางเหนือของลุ่มน้ำเป็นดินกรด (Acid sulfate and para-acid sulfate soils) ทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (Van Breemen, 1976) สาเหตุที่สองคือในฤดูแล้งน้ำในแม่น้ำไม่ค่อยมีการผสมผสานกับน้ำเค็มที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า จากการศึกษาของ Hungspreugs et al.

(1990) พบว่าน้ำในแม่น้ำบางปะกงมีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าแม่น้ำแม่กลองที่มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.7-8.0

4.1.4. ความเค็มและความนำไฟฟ้า

ความเค็มและความนำไฟฟ้าของน้ำในแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้งสูงกว่าและในฤดูฝน ทั้งนี้เพราะว่าในฤดูแล้งปริมาณน้ำทำมีน้อยไม่สามารถที่จะดันน้ำเค็มที่รุกขึ้นไปจากทะเลได้ (กรมเจ้าท่า, 2539) ทำให้ในสถานีที่ 1 มีความเค็มสูงถึง 8 psu หรือค่าความนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ $14,900 \mu\Omega \text{ cm}^{-1}$ ในขณะที่ฤดูฝนปริมาณน้ำทำมีมากน้ำทะเลจึงไม่สามารถที่จะรุกเข้าไปได้ ดังนั้นจึงพบว่าน้ำในแม่น้ำมีความเค็มต่ำมากสามารถตรวจวัดความเค็มได้ระหว่าง 0 ถึง 0.5 พีเอสยู หรือค่าความนำไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 102 ถึง $780 \mu\Omega \text{ cm}^{-1}$ ปัจจัยสำคัญที่น่าจะมีอิทธิพลควบคุมการเปลี่ยนแปลงความเค็มของแม่น้ำบางปะกง คือ ปริมาณน้ำฝน น้ำท่า กระแสน้ำขึ้นน้ำลง และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ท้องน้ำ (Morphology) ลักษณะการแพร่กระจายของความเค็มชี้ให้เห็นว่าน้ำในแม่น้ำบางปะกงมีการผสมผสานแบบ Well mixed โดยที่มีความแตกต่างระหว่างฤดูกาลสูงซึ่งถูกควบคุมโดยปริมาณน้ำท่า เป็นลักษณะที่คล้ายคลึงกับแม่น้ำในเขตรมสูม (Day et al., 1989)

4.1.5. ปริมาณตะกอนแขวนลอย

จะเห็นได้ว่าในฤดูแล้งบริเวณสถานีที่ 4, 5 และ 6 หรือระหว่างกิโลเมตรที่ 9 ถึง 50 จากปากแม่น้ำเป็นบริเวณที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่สูงที่สุด ซึ่งน่าจะเป็นบริเวณ Turbidity maximum zone ซึ่งเกิดจากการที่มวลน้ำที่มีความเค็มต่ำจากต้นน้ำไหลลงมาปะทะกับมวลน้ำเค็มจากทะเลที่รุกขึ้นมา ดังนั้นความเร็วของมวลน้ำทั้งสองจะหักล้างกัน ทำให้อัตราการไหลสุทธิ (Net speed) ของน้ำลดต่ำลง ตะกอนที่มากับมวลน้ำทั้งสองจึงมีโอกาสตกลงสู่พื้นท้องน้ำได้ ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกันในแม่น้ำ Scheldt ในประเทศเบลเยียม (Baeyens, 1998) นอกจากนี้การไหลขึ้นของของมวลน้ำเค็มที่บริเวณพื้นท้องน้ำยังก่อให้เกิดแรงเฉือน (Shear stress) แรงดังกล่าวจะไปกวาดตะกอนให้ฟุ้งกลับขึ้นสู่มวลน้ำได้ (Re-suspension) ซึ่งเป็นสาเหตุเดียวกับการฟุ้งกระจายของตะกอนในแม่น้ำ Loire (Frenet, 1981) ในฤดูฝนปริมาณน้ำทำที่มากผลักดันน้ำเค็มและตะกอนที่สะสมตัวอยู่ในแม่น้ำออกสู่ปากแม่น้ำ จึงพบปริมาณสารแขวนลอยในฤดูฝนต่ำกว่าฤดูแล้ง ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สูงในบริเวณสถานีที่ 7 และ 8 น่าจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า Turbidity maximum zone ถูกผลักออกมาอยู่บริเวณสถานีที่ 7 และ 8 ในฤดูฝน

4.2. สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอย (POC)

ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอยต่อหน่วยปริมาตรน้ำ (POC, mg l^{-1}) และปริมาณตะกอนแขวนลอยมีรูปแบบการแพร่กระจายที่คล้ายคลึงกันและมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงต่อกัน โดยมีค่า Correlation coefficient (R^2) ที่ $P < .01$ เท่ากับ .990 ในฤดูแล้ง และ .951 ในฤดูฝน ตามลำดับ ดังนั้นการแปรผันของ POC (mg l^{-1}) ในมวลน้ำจึงขึ้นอยู่กับปริมาณสารแขวนลอยในมวล

น้ำ หรือความแตกต่างของ POC (mg l^{-1}) ระหว่างฤดูแล้งและฝนจึงมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของปริมาณตะกอนแขวนลอย เมื่อพิจารณาสารอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนแขวนลอยต่อน้ำหนักแห้งของตะกอน (POC, mg g^{-1}) จะเห็นว่า POC (mg g^{-1}) ในทั้งสองฤดูไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.6 mg g^{-1} อย่างไรก็ตาม POC (mg g^{-1}) มีแนวโน้มที่ลดต่ำลงตามระยะทางที่ออกสู่ปากแม่น้ำ ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่สารอินทรีย์คาร์บอนถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียซึ่งจะเห็นได้ว่าธาตุอาหารปริมาณน้อยมีความเข้มข้นสูงขึ้น ผลจากการศึกษานี้ตรงกับการศึกษาของ Regnier and Wollast (1993) ในเอสตูร์ของแม่น้ำ Scheldt ซึ่งพบว่า POC (mg g^{-1}) มีค่าลดลงตามความเค็มที่เพิ่มสูงขึ้น และการลดลงนี้เกิดเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวก heterotrophic

4.3. ธาตุอาหารปริมาณน้อย

4.3.1. ธาตุอาหารปริมาณน้อยในกลุ่มไนโตรเจน แอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรท

ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรท์ในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้งมาก ในขณะที่ความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรทในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในฤดูแล้ง พื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงเป็นพื้นที่ที่มีการกสิกรรมสูง โดยบริเวณโดยรอบสถานีที่ 1 เป็นบริเวณที่มีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตน้ำจืดกันมาก น้ำฝน ที่ตกลงมาในฤดูฝน น่าจะชะล้างเอาของเสียและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่สะสมอยู่บนฝั่ง รวมถึงแอมโมเนียที่เกิดจากขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นแอมโมเนีย Ammonification ให้ไหลลงสู่ลำน้ำ จึงทำให้พบความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรท์ในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้งมาก ประกอบกับเวลาช่วงชีวิตของน้ำในฤดูฝนจะสั้น (Short residence time) เนื่องจากมีน้ำท่าผลักดันน้ำให้ออกสู่ปากแม่น้ำตลอดเวลา (Wattayakorn, 2000) ทำให้การออกซิไดซ์สารอินทรีย์และแอมโมเนีย ไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทยังไม่สมบูรณ์ จึงพบปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่ไม่สูงเท่าในฤดูแล้ง

ตารางที่ 4.2. เปรียบเทียบค่าพิสัยของธาตุอาหารปริมาณน้อยในบางปะกงเอสตูร์จากการศึกษาครั้งนี้กับการศึกษาที่ผ่านมา

ธาตุอาหารปริมาณน้อย	มี.ค. 43 ¹	ก.ค. 43 ¹	ม.ค. 38 ²	มี.ค. 36 ³	ศ.ค. 35 ³
แอมโมเนีย (μM)	0.12-3.84	11.8-16.8	Nd	Nd-3.75	4.12-20.0
ไนไตรท์ (μM)	0.40-13.0	0.37-0.92	-	0.23-13.26	0.23-1.96
ไนเตรท (μM)	31.4-87.0	18.6-28.8	3.87-23.55	Nd-29.35	0.32-6.45
ฟอสเฟต (μM)	0.50-3.2	0.57-1.71	Nd-2.21	0.63-1.79	0.21-0.73
ซิลิเกต (μM)	<0.03-152	112-130	-	-	-

หมายเหตุ 1 การศึกษาครั้งนี้
3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537
- ไม่มีข้อมูล

2 Pollution control department, 1998
nd ไม่สามารถตรวจวัด

ในฤดูแล้งเวลาช่วงชีวิตของน้ำในแม่น้ำจะยาวขึ้น (Long residence time) เนื่องจากปริมาณน้ำท่ามีน้อยลงและมีน้ำทะเลหนุน การชะล้างของเสียจากฝั่งลงสู่แหล่งน้ำน่าจะลดลงด้วย เวลาช่วงชีวิตของน้ำทำให้ แบคทีเรียมีเวลาย่อยสลายสารอินทรีย์และแอมโมเนียต่อไปเป็นไนเตรท โดยสังเกตได้ว่า แอมโมเนียและไนไตรท์ มีค่าต่ำในขณะที่ไนเตรทในฤดูนี้มีค่าสูงกว่าฤดูฝนมาก โดยเฉพาะบริเวณระหว่างสถานีที่ 2 ถึง 5 หรือที่ระยะทาง 20 ถึง 80 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทที่สูงในบริเวณสถานีที่ 7 และ 8 น่าจะเกิดจากการที่บริเวณดังกล่าวมีกิจกรรมการเพาะเลี้ยงปลากะพงในกระชังมาก ซึ่งเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของ แอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรท ในฤดูแล้ง พบว่ามีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ (Non-conservative) โดยที่แอมโมเนียและไนไตรท์ถูกย่อยสลายโดยขบวนการทางชีวภาพ จึงมีความสัมพันธ์กับความเค็มในลักษณะโค้งขึ้น ในบริเวณเดียวกัน ไนเตรทซึ่งเป็นผลผลิตจากขบวนการย่อยสลายแอมโมเนียและไนไตรท์ทางชีวภาพ จึงมีความสัมพันธ์กับความเค็มในลักษณะโค้งลง

4.3.2. ฟอสเฟต

ฟอสเฟตมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์โดยมีลักษณะเส้นโค้งความสัมพันธ์แบบโค้งลง โดยความเข้มข้นของฟอสเฟตเพิ่มขึ้นจากคือน้ำออกสู่ปากแม่น้ำในทั้งสองฤดู เป็นที่น่าสังเกตว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตที่สูงมากในบริเวณปากแม่น้ำน่าจะเกิดจากการ Regenerate ฟอสเฟตจากตะกอนแขวนลอยที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนสูง หรือบริเวณปากแม่น้ำน่าจะเป็น Source ของ ฟอสเฟต โดยความเข้มข้นในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน ความเข้มข้นที่สูงกว่านี้น่าจะเกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์สารที่เข้าสู่แม่น้ำในลักษณะเช่นเดียวกับที่เกิดกับสารในกลุ่มไนโตรเจน โดยในฤดูแล้งน้ำมีเวลาช่วงชีวิตในแม่น้ำนานกว่าในฤดูฝนจึงเกิดการย่อยสลายได้สมบูรณ์กว่า ในขณะที่ในฤดูฝนน้ำมีเวลาช่วงชีวิตในแม่น้ำสั้นกว่าในฤดูแล้งการย่อยสลายของอินทรีย์สารจึงยังอาจจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามยังสามารถสังเกตได้ว่าฟอสเฟตมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางออกสู่ปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ตรงข้ามกับปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนแขวนลอย ในทั้งสองฤดู นอกจากนี้ยังจากการศึกษาของ Hungspreugs et al., 1990 พบว่าการแพร่กระจายของปริมาณฟอสเฟตและ ตะกอนแขวนลอย ตามความเค็มในฤดูแล้ง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ความแตกต่างนี้อาจจะมีสาเหตุจากช่วงเวลาที่เกิดขึ้นที่แตกต่างกัน

4.3.3. ซิลิเกต

การแพร่กระจายและพฤติกรรมของซิลิเกตในแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้งและฤดูฝนมีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยในฤดูแล้งซิลิเกตมีพฤติกรรมอย่างไม่อนุรักษ์โดยมีการเพิ่มขึ้นของซิลิเกตที่บริเวณกลางแม่น้ำหรือบริเวณที่มีความเค็มระหว่าง 15 -25 psu ในฤดูแล้งปริมาณน้ำท่าที่น้อยทำให้ น้ำทะเลรุกล้ำขึ้นมาได้ มีการถ่ายเทน้ำน้อยทำให้ปริมาณซิลิเกตที่เข้าสู่แม่น้ำมีน้อยจึงเห็นการลด

ให้น้ำทะเลรุกกล้าขึ้นมาได้ มีการถ่ายเทน้ำน้อยทำให้ปริมาณซิลิเกตที่เข้าสู่แม่น้ำมีน้อยจึงเห็นการลดต่ำลงของความเข้มข้นของซิลิเกตที่บริเวณสถานีต้นน้ำ คงจะถูกแพลงตอนพืช กลุ่มไดอะตอมนำไปใช้จนหมด ในสถานีที่ 3 กลับพบว่ามีค่าสูงสุด ซึ่งเป็นจุดเดียวกับที่พบค่าไนเตรทสูงสุดเช่นกัน ดังนั้นแหล่งที่มาของซิลิเกตในจุดนี้จึงน่าจะเป็นผลของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างแข็งที่มีการทับถมอยู่ในบริเวณนี้ เช่น แพลงตอนพืชกลุ่มของไดอะตอม

ในขณะที่ซิลิเกตในฤดูฝนมีความเข้มข้นสูงคงที่ตลอดพื้นที่ศึกษา การแพร่กระจายดังกล่าวน่าจะถูกรักษาโดยปริมาณน้ำท่าที่มีมากในฤดูฝนซึ่งจะชะล้างแร่ธาตุในกลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate mineral) ลงสู่แหล่งน้ำและถูกพัดก้นออกสู่ปากแม่น้ำ

4.4. ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง

ระดับการปนเปื้อนของสารละลายโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกงจากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าผลจากการศึกษาในพื้นที่เดียวกันโดย Windom et al., (1989) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำ แต่ใกล้เคียงกับการศึกษาที่ผ่านมาของ มนูดี หังสพฤกษ์ และศิริชัย ธรรมวานิช (2529) และ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2537) แต่มีระดับการปนเปื้อนต่ำกว่าในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะทองแดงและตะกั่ว (กัลยา อำนวย, 2527; กรมควบคุมมลพิษ, 2537) ระดับการปนเปื้อนของสารละลายโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง ทุกตัวยกเว้นแมงกานีสมีค่าสูงกว่าน้ำจากทะเลสาบสงขลา (Sirinawin et al., 1998) และค่าเฉลี่ยในแม่น้ำทั่วโลก (Cenci et al., 1998) แต่ระดับการปนเปื้อน ที่ตรวจพบในแม่น้ำบางปะกงในการศึกษาครั้งนี้ ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 3 ของไทย

ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำบางปะกงจากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าผลการศึกษาที่ผ่านมา (มนูดี หังสพฤกษ์ และศิริชัย ธรรมวานิช, 2529; จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537) และสูงกว่าระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบสงขลา (Sirinawin et al., 1998) แต่มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำทั่วโลก ยกเว้นตะกั่วที่ค่าที่ผลจากการศึกษานี้สูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกเล็กน้อย (Cenci et al., 1998) ปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่สูงในตะกอนแขวนลอยที่พบในแม่น้ำบางปะกงน่าจะช่วยให้เกิดการ Co-precipitated ของโลหะหนักชนิดอื่นๆด้วย ความเข้มข้นที่สูงขึ้นของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยน่าจะเป็นตัวบ่งชี้เป็นอย่างดีว่าแม่น้ำบางปะกงมีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักที่สูงขึ้น

ระดับการปนเปื้อนในรูปของสารละลายและตะกอนแขวนลอยมีความแตกต่างกันในสองฤดูที่ทำการศึกษาโดยความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมในฤดูแล้งมีความเข้มข้นสูงกว่าในฤดูฝนเล็กน้อย ในส่วนของตะกอนแขวนลอยในสถานีที่ 1 ถึง 5 ไม่แตกต่างกันแต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในสถานีที่ 6 และ 7 มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นมาก ซึ่งอาจจะเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ ค่าเฉลี่ยของ

ความเข้มข้นของสารละลาย ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และ เหล็ก ในฤดูฝนมีความเข้มข้นสูงกว่าในฤดูแล้ง โดยสารละลายของโลหะทั้งสามมีแนวโน้มที่เหมือนกันคือมีค่าค่อนข้างต่ำและไม่ค่อยแตกต่างกันจากในฤดูแล้งในสถานีที่ 1 ถึง 3 และเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในสถานีที่ 4, 5 และ 6 โดยจุดสูงสุดมักจะอยู่ระหว่างสถานีที่ 5 หรือ 6 แล้วลดต่ำลงในสถานีที่ 7 และ 8

ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในตะกอนแขวนลอยในฤดูฝนมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะทางที่ทำการศึกษาและมีค่าต่ำกว่าในฤดูแล้งเล็กน้อย ซึ่งกลับกับในส่วนของสารละลายที่ความเข้มข้นเฉลี่ยในฤดูฝนจะมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง เหล็กเป็นโลหะที่มีค่าในฤดูฝนทั้งในรูปสารละลายและตะกอนแขวนลอยสูงกว่าในฤดูแล้งซึ่งเป็นผลจากขบวนการชะล้างจากแผ่นดิน

4.5. พฤติกรรมและการแพร่กระจายของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง

4.5.1. แคดเมียม

เป็นโลหะหนักที่มีพฤติกรรมค่อนข้างแตกต่างจากโลหะตัวอื่นที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยพบแคดเมียมในส่วนของตะกอนแขวนลอยประมาณ 40 % ซึ่งต่ำกว่าโลหะอื่นๆ ที่มีค่าประมาณ 70 ถึง 99 % และมีค่า K_D ต่ำที่สุดในจำนวนโลหะที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งขัดแย้งกับผลจากการศึกษาของ Paucot & Wollast (1997) ในแม่น้ำ Scheldt โดยพวกเขาพบว่า Cd มีค่า K_D มากกว่า Cu, Zn และ Ni ตามลำดับ โดยที่การเกิดสารประกอบ Metal-sulfide น่าจะเป็นขบวนการที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนรูปแบบและพฤติกรรมของโลหะในแม่น้ำสายนี้ ซึ่งแตกต่างจากในแม่น้ำบางปะกงเนื่องจากปริมาณออกซิเจนในแม่น้ำบางปะกงในบางบริเวณอาจจะต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำระดับที่ 3 แต่ก็ยังคงมีอยู่พอที่จะออกซิไดส์ (2 mg l^{-1}) ซัลไฟด์ได้

ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายและในตะกอนแขวนลอยแสดงให้เห็นว่าแคดเมียมมีการแยกตัวออกจากตะกอนแขวนลอยเมื่อเคลื่อนย้ายจากบริเวณต้นน้ำออกสู่ปากแม่น้ำ ซึ่งมีผลทำให้ค่า K_D ของ Cd มีค่าลดลงตามค่าความเค็มที่เพิ่มขึ้น พฤติกรรมในลักษณะนี้ของ Cd ถูกพบในการศึกษาของ Paucot & Wollast (1997), Li et al., (1984) เช่นกัน โดยขบวนการ Desorption ของแคดเมียมออกจากตะกอนแขวนลอยเกิดขึ้นจากการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของ Cd กับคลอไรด์ไอออน (Cd- Chloro-Complexation) โดยรูปแบบของสารประกอบเชิงซ้อนนี้พบได้หลายรูปแบบเช่น CdCl^+ , CdCl_2 , CdCl_3^- (Comans & van Dijk, 1988; Morel & Hering, 1993)

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลการศึกษาของ Valenta et al., (1986) ที่พบว่าแคดเมียมมีความสัมพันธ์อย่างมากกับ Particulated matter ในระหว่างที่มี Phytoplankton bloom และแคดเมียมในการศึกษาครั้งนี้เป็นโลหะที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ Particulated organic matter ที่สุด

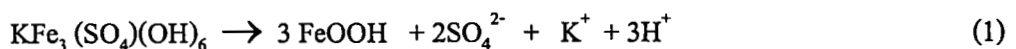
4.5.2. ทองแดง

จากการศึกษาในครั้งนีพบว่าทองแดงมีลักษณะของพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์โดยมีรูปแบบใกล้เคียงกับพฤติกรรมของแคดเมียม ซึ่งมีค่าในรูปสารละลายที่เพิ่มขึ้นตามความเค็ม แต่มีค่า K_D สูงกว่าแคดเมียมและใกล้เคียงกับ นิกเกิล ทองแดงมีพฤติกรรมที่มักจะยึดติด (Adsorp) กับตะกอนแขวนลอยที่มีองค์ประกอบเป็นหลักและสารอินทรีย์ (Davies-Colley et al., 1984) ในน้ำจืดและเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่มีความเค็มสูง Cu มักจะ Desorpt ออกมาอยู่ในรูปของสารละลายน้ำที่ความเค็ม โดยทองแดงที่พบละลายน้ำโดยมากจะอยู่ในรูปของ ไอออนอิสระของทองแดง (Cu^{2+}) และสารประกอบเชิงซ้อนอนินทรีย์กับคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ไอออน ($CuCO_3$, และ $CuOH^+$) (Morel & Hering, 1993) และสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์กับสารละลายอินทรีย์เช่น Humic acid สารประกอบเชิงซ้อนของทองแดง $Cu(OH)_2$ ซึ่งอาจจะละลายน้ำหรือบางส่วนตกตะกอน Precipitate โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไฮดรอกไซด์ไอออนจะทวีความสำคัญขึ้นเมื่อ pH ของน้ำมีค่าสูงขึ้น (Mantoura et al., 1978)

ปริมาณความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกันของทองแดงในฤดูแล้งและฤดูฝนอาจจะเป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่า ทองแดงในแม่น้ำบางปะกงไม่ได้เกิดจากการชะล้างจากแผ่นดินยกเว้นที่สถานีที่ 5 และ 6 ในฤดูฝนที่มีค่าสูงผิดปกติ ซึ่งอาจจะได้รับน้ำที่มีการปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่มากในบริเวณดังกล่าว ทองแดงเป็นโลหะที่มีความสำคัญในขบวนการทางชีวภาพ และมักจะพบว่ามีการกักเก็บทองแดงในปริมาณที่ต่ำมาก (Burton et al., 1993; Windom et al, 1991) แต่ในการศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างเด่นชัด

4.5.3. เหล็ก

กว่า 95 % ของเหล็กที่ตรวจวัดได้ในแม่น้ำบางปะกงอยู่ในส่วนของตะกอนแขวนลอยโดยในฤดูฝนเหล็กทั้งในรูปของสารละลายและตะกอนแขวนลอยมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้งมาก ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Windom et al., (1988) ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากอิทธิพลของการชะล้างตะกอนดินจากแผ่นดินลงสู่แหล่งน้ำ van Breemen (1976) รายงานว่าดินตะกอนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงมี และ Pyrite เป็นองค์ประกอบที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่ระดับความลึก 20 cm ลงไป (1–2.5 %) ส่วน Fe_2O_3 เป็นแร่ที่พบมากที่บริเวณพื้นผิวของดินตะกอนในบริเวณดังกล่าว โดยมีค่าสูงถึง 3 % แร่ดังกล่าวสามารถละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังพบแร่ Jarosite เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในดินตะกอนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงด้วย แร่ Jarosite เมื่อละลายน้ำจะได้ Fe-oxyhydroxide ซัลเฟต และ ไฮโดรเจน ไอออน ดังแสดงในสมการที่ 1 ในฤดูฝนเราตรวจพบเหล็กละลายน้ำสูงถึงเกือบ $100 \mu g l^{-1}$ ซึ่งสูงกว่าในฤดูแล้งมาก



เหล็กเป็น Essential element ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของ แพลงก์ตอนพืชเช่นเดียวกับ Cu, Ni และ Zn โดยทั่วไปเหล็กในรูปของสารละลายมักจะอยู่ในรูปของ Fe^{2+} , $FeCl^+$, $FeSO_4$, $Fe(OH)_2^+$, $Fe(OH)_4^-$ (Morel & Hering, 1993) การที่พบเหล็กในรูปสารละลายมีค่าต่ำมากในฤดูแล้งน่าจะมีเหตุผลสองประการคือหนึ่ง ถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยแพลงก์ตอนพืช หรือเนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่มีความไวในปฏิกิริยา Oxidation – Reduction มาก โดยเหล็กจะถูกออกซิไดส์ไปอยู่ในรูปของ Fe-oxyhydroxide ($Fe(OH)_2^+$, $Fe(OH)_4^-$, $Fe(OH)$, และ Fe_3O_4) ได้อย่างรวดเร็ว และมักจะเปลี่ยนจากเหล็กในรูปละลายน้ำไปอยู่ในรูปคอลลอยด์ และตะกอนแขวนลอยในที่สุด โดย Windom et al., (1988) พบการลดลงของเหล็กละลายน้ำเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นและพวกเขาเสนอว่าน่าจะเกิดจากการออกซิเดชันของ Fe^{2+} ไปเป็น $Fe(OH)$, หรืออาจจะเป็นผลจากค่า pH ที่เพิ่มขึ้นตามความเค็มที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการละลายของ $Fe(OH)$, ลดลง

ส่วนเหล็กที่พบในรูปของตะกอนแขวนลอยหรือตะกอนที่พื้นท้องน้ำมักจะพบในรูปของ FeS , FeS_2 , $FeCO_3$, $Fe(OH)$, Fe_3O_4 , $FePO_4$, $Fe(PO)$ จากการศึกษาของ สุวรรณ ภาณุตระกูล และไพฑูรย์ มกกงไผ่ (2543) พบว่าดินตะกอนในแม่น้ำบางปะกงมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นเหล็กในรูปของ FeS , และ FeS_2 , จึงไม่น่าจะเป็นรูปที่มีความสำคัญ การศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องนี้น่าจะทำให้ทราบรูปแบบหลักของเหล็กซึ่งมีความสำคัญมากในเรื่องการตกตะกอนร่วมของโลหะตัวอื่นและการเคลื่อนย้ายโลหะระหว่างแม่น้ำบางปะกงและอ่าวไทย

4.5.4. แมงกานีส

ความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีสในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง โดยแนวโน้มในฤดูแล้งมีค่าสูงที่สุดที่สถานีที่ 1 แล้วลดลงตามระยะทางออกสูปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นรูปแบบที่มักจะพบในเอสทูรีทั่วไป (Duinker & Nolting, 1978; กัลยา อำนวย 2527) ส่วนในฤดูฝนมีค่าสูงสุดที่สถานีที่ 2 และ 3 จากนั้นลดลงตามระยะทางออกสูปากแม่น้ำ บริเวณสถานีที่ 2 นี้เป็นบริเวณที่ ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในดินตะกอนพื้นท้องน้ำมีค่าสูงสุด รูปแบบการแพร่กระจายของ Mn ที่พบในการศึกษานี้คล้ายคลึงกับผลจากการศึกษาในแม่น้ำ Scheldt ของ Duinker et al., (1982) ในแม่น้ำสายอื่นๆเช่น

การหมุนเวียนวัฏจักรของแมงกานีสในระบบเอสทูรีมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยส่วนใหญ่ของแมงกานีสมักจะมาจากการชะล้างจากแผ่นดิน แมงกานีส (Terrigenous origin) (Duinker et al., 1979) รีดิคัลแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ละลายน้ำมักจะถูกออกซิไดส์ไปเป็นแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ทั้งโดยขบวนการทางเคมีและชีวภาพโดยผ่านทางแบคทีเรีย (Mn oxidizing bacteria) ดังนั้นจึงมักจะพบแมงกานีสออกไซด์ตกตะกอนอยู่ที่พื้นท้องน้ำในเอสทูรีและบริเวณชายฝั่ง (Wallast et al., 1985) Zwolsman & van Eck (1999) พบหลักฐานการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Mn ในดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ Scheldt เมื่อน้ำในแม่น้ำมีค่า Redox potential เพิ่มขึ้น ซึ่งในบางปะกงเอสทูรีก็พบการสะสมของแมงกานีสในดินตะกอนในแม่น้ำในระดับที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน (สุวรรณ ภาณุตระกูลและไพฑูรย์

มกกงไม้, 2543) โดยพบค่าสูงสุดที่บริเวณสถานีที่ 2 และมีแนวโน้มลดลงจนถึงปากแม่น้ำ ซึ่งตรงกับผลจากการทดลองของ Spratt & Hodson (1994) ที่พบอัตราการตกตะกอนของแมงกานีสออกไซด์สูงในบริเวณที่ความเค็มไม่สูงมากนัก

Ouddane et al., (1997) ได้ทำการศึกษารูปแบบของ Mn ใน Seine เอสทรี แล้วพบว่าในบริเวณที่เป็นเขตน้ำจืด 88% ของ Mn ที่พบละลายน้ำอยู่ในรูป Mn^{2+} ส่วนที่เหลืออยู่ในรูปของ $MnSO_4$ และ $MnCl_2$ ตามลำดับ ในเขตติดต่อทะเล พบ Mn^{2+} 57 % ส่วนที่เหลืออยู่ในรูปของ $MnCl^+$, $MnSO_4$, $MnCl_2$, $MnCl_3$ และ $Mn(OK)^+$ ตามลำดับ รูปแบบที่มีความสำคัญมากของ Mn ในตะกอนแขวนลอยได้แก่ Mn-carbonate ($MnCO_3$, $MnCaCO_3$), ซึ่ง Ouddane et al., (1997) พบว่ามีสัดส่วนถึง 55% ในเขตติดต่อทะเลและ 40 % ในเขตติดต่อน้ำจืด โดย Mn-oxyhydroxide ($Mn(OH)_2$ และ MnO_2) เป็นรูปแบบที่มีความสำคัญเป็นอันดับสอง ส่วนของ Mn-organic binding เป็นส่วนที่มีความสำคัญน้อยที่สุด

ในการศึกษานี้พบว่าค่า K_D ของ Mn มีค่าสูงเป็นอันดับสองรองจากเหล็ก ในทั้งสองฤดูกาล และกว่า 75% ของ Mn ที่พบอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย และ Mn ที่พบในตะกอนแขวนลอยไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนแขวนลอยเลย แต่ในฤดูฝนจะพบว่าปริมาณ Mn ในตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนแขวนลอย ซึ่งตรงกับข้อสรุปของ Burton et al. (1993) และ Tappin et al (1995) ที่ว่า การแพร่กระจายของ Mn ในแหล่งน้ำที่อยู่ใกล้ฝั่งมักจะถูกควบคุมโดยดินตะกอนที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำนั้นๆ เป็นที่น่าเสียดายที่ในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนในตะกอนแขวนลอย ทำให้ไม่สามารถประเมินความสำคัญของ Mn-carbonate ตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำบางปะกงได้

4.5.5. นิเกิล

ผลการศึกษาพบว่านิเกิลเป็นโลหะที่มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ โดยมีลักษณะการกระจายแบบโค้งขึ้น หรือมีค่าความเข้มข้นสูงที่บริเวณปากแม่น้ำในทั้งสอง ฤดูที่ทำการศึกษา ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Windom et al (1988) ซึ่งพบพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ของนิเกิลโดยมีค่าลดลงตามความเค็มที่เพิ่มขึ้น และที่พบในแม่น้ำ Scheldt (Paucoot & Wallast, 1997) ประเด็นที่น่าสนใจคือค่าความเข้มข้นของนิเกิลในแม่น้ำบางปะกงจากการศึกษาในครั้งนี้สูงกว่าของ Windom et al (1988) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณปากแม่น้ำ ดังนั้นพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปนี้อาจจะมีสาเหตุจากการมีแหล่งของนิเกิลและโลหะอื่นๆที่บริเวณใกล้เคียงปากแม่น้ำ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารละลาย Cd, Cu, Ni และ Pb ที่สูงในบริเวณนี้ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาติดตามหาแหล่งของสารละลายโลหะดังกล่าว

ค่าความเข้มข้นที่ลดลงอย่างมากที่ระยะทาง 20 ถึง 80 km จากปากแม่น้ำอาจจะเกิดจากการนำไปใช้โดยเพลิงก่อกองพีชก็ได้ เนื่องจาก Ni เป็นสารละลายโลหะที่มักจะพบว่ามีความสัมพันธ์คล้ายกับธาตุอาหารปริมาณน้อย (Burton 1983)

ดังจะเห็นได้ว่า คล้ายกับ Cd และ Cu คือมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลาย นิเกิล ในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนเล็กน้อยโดยมีแนวโน้ม ที่มีค่าค่อนข้างต่ำและไม่ค่อยแตกต่างกัน จากในฤดูแล้งในสถานที่ที่ 1 ถึง 5 และเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในสถานที่ที่ 6 และ 7 แล้วลดต่ำลงในสถานที่ที่ 8 จริงๆแล้วแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในฤดูฝนก็ใกล้เคียงกับของสารละลายโลหะทองแดง ตะกั่ว และ สังกะสีในฤดูฝน

สารประกอบเชิงซ้อนละลายน้ำของนิเกิลที่สำคัญได้แก่ NiCl^+ และ NiSO_4 (Morel & Hering, 1993) Turner et al., (1998) พบว่าในนิเกิลจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ละลายน้ำซึ่งมีผลให้นิเกิลมีความคงทนอยู่ในรูปสารละลายมากกว่าที่จะยึดจับกับตะกอนแขวนลอยอยู่มาก ในการศึกษาพบว่าประมาณ 70 % ของนิเกิลในทั้งสองฤดู อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย

4.5.6. ตะกั่ว

ตะกั่วก็มีพฤติกรรมในแบบไม่อนุรักษ์เช่นเดียวกับโลหะชนิดอื่นที่ทำการศึกษานี้ในครั้งนี้ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่พบว่าตะกั่วมีพฤติกรรมใดที่สามารถสังเกตได้เด่นชัดยกเว้นลักษณะการแพร่กระจายของตะกั่วละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นจากค่าน้ำสู่ปากแม่น้ำในฤดูฝนซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากกิจกรรมของมนุษย์เช่นเดียวที่พบในกรณีของ Cd, Cu, Ni, และ Zn

โดยทั่วไปตะกั่วที่อยู่ในรูปละลายน้ำมักจะอยู่ในรูปของ PbCl^+ , PbCl_2 , PbCO_3 , และ PbOH ตะกั่วในรูปของ PbCO_3 , และ PbOH จะพัฒนาไปเป็นคลอไรด์และตะกอนแขวนลอยได้ในที่สุด นอกจากนี้ในสถานะที่มีออกซิเจนมากสามารถพบ PbO_2 ในตะกอนแขวนลอยได้ด้วย (Morel & Hering, 1993) ใน ศึกษาของ Valenta et al., (1986) พบว่า ตะกั่วชอบที่จะยึดติดกับตะกอนแขวนลอยทุกชนิดที่พบในแม่น้ำ Scheldt ซึ่งได้แก่ตะกอนแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์ Clay, และ Mn-Fe-Oxyhydroxide ผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าตะกั่วส่วนใหญ่โดยเฉพาะในฤดูแล้งอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย (> 80%) ในฤดูฝนปริมาณตะกั่วที่น่าจะมีค่านำมาจากการที่น้ำฝนชะล้างเอาสารละลายตะกั่วจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนบริเวณสถานที่ที่ 5 และ 6 จะลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วในสถานที่ที่ 7 และ 8

4.5.7. สังกะสี

โลหะสังกะสีมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ในฤดูแล้ง โดยมีลักษณะความสัมพันธ์กับความเค็มในแบบโค้งขึ้น โดยมีความเข้มข้นลดลงตามความเค็มที่เพิ่มขึ้น การสูญหายของสังกะสีอาจจะเกิดจากการนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสังกะสีเป็น Essential element ที่มีความจำเป็นต่อขบวนการทางชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ เปลือกแข็งของไดอะตอม (Diatom frustules) จึงมักพบ Zn มีความสัมพันธ์กับสารละลายซิลิเกตในทะเลเปิด (Loscher, 1999) ในการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ในทางเดียวกันระหว่าง Zn กับสารละลายซิลิเกต ซึ่งบ่งบอกว่าขบวนการทางชีวภาพไม่ใช่ขบวนการสำคัญที่ควบคุมพฤติกรรมของ Zn ในแม่น้ำบางปะกง

เนื่องจากส่วนใหญ่ของสังกะสีอยู่ในตะกอนแขวนลอย (85 %) และพบว่าสังกะสี โดยรูปแบบของสังกะสีในตะกอนแขวนลอยในแหล่งน้ำที่มีสภาพออกซิไดส์มักจะพบในรูปของ $ZnCO_3$, $ZnSiO_3$, จากการศึกษาของสุวรรณา ภาณุตระกูล และ ไพฑูรย์ มกกงไผ่ (2543) พบว่า สังกะสีและแมงกานีสในดินตะกอนจากแม่น้ำบางปะกงมีความสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งน่าจะเป็นไปได้ว่าอาจเกิดการตกตะกอนร่วมของสังกะสีกับแมงกานีสออกไซด์ สังกะสีในรูปสารละลายน้ำมักอยู่ในรูป Zn^{2+} , $ZnCl^+$, $ZnSO_4$, $ZnOH^+$ และ $ZnCO_3$ (Morel & Hering, 1993)

สรุปผลการศึกษา

1. โลหะทุกตัวที่ทำการศึกษาในครั้งนี (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn) มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์
2. ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบได้ในการศึกษาครั้งนี้ยังอยู่ในมาตรฐานของคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 แต่มีแนวโน้มที่มีการปนเปื้อนในระดับที่สูงขึ้นของโลหะ Cd, Cu, Ni, Pb และ Zn โดยเฉพาะที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากโรงงานอุตสาหกรรมในบริเวณดังกล่าวจึงควรมีการศึกษาติดตามเพื่อหาสาเหตุหรือแหล่งของโลหะดังกล่าว
3. ค่า K_D ของโลหะที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีลำดับดังนี้ $Fe > Mn > Pb > Zn > Ni > Cu > Cd$ ในฤดูแล้ง และ $Fe > Mn > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd$ ในฤดูฝน
4. ปริมาณรวมของโลหะทุกชนิดที่ทำการศึกษาในครั้งนีมีความแตกต่างกันระหว่างสองฤดูที่ทำการศึกษา โดยความเข้มข้นในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้แหล่ง (Sources) ของโลหะน่าจะมาจากการชะล้างดินตะกอนที่ปนเปื้อนจากแผ่นดิน ยกเว้นที่บริเวณปากแม่น้ำ
5. พฤติกรรมการแพร่กระจายของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกงน่าจะถูกควบคุมโดยการชะล้างโลหะจากแผ่นดิน ลักษณะทางอุทกวิทยา ปริมาณน้ำท่า การขึ้นลงของน้ำทะเล และกิจกรรมจากมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณปากแม่น้ำเป็นสำคัญ ขบวนการทางชีวภาพก็น่าที่จะมีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของแคดเมียม การศึกษาเพิ่มเติมมีความจำเป็นเพื่อที่จะทราบสัดส่วนความสำคัญของขบวนการต่างๆ ต่อพฤติกรรมของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง
6. เนื่องจากเหล็กและแมงกานีสเป็นโลหะที่มีปริมาณสูงมากในตะกอนแขวนลอยและมีค่า K_D สูงมากด้วย ดังนั้นการตกตะกอนร่วมของโลหะอื่นๆ กับ Fe-Mn-Oxides และ Fe-Mn-Carbonate จึงน่าที่จะเป็นขบวนการที่สำคัญที่ควบคุมพฤติกรรมของโลหะในแม่น้ำบางปะกงด้วย ประเด็นนี้ที่น่าที่จะได้รับการศึกษาในเชิงลึกต่อไป
7. โลหะหนักทุกตัวที่ทำการศึกษาในครั้งนีมีสัดส่วนของตะกอนแขวนลอยต่อโลหะทั้งหมด (% particulate heavy metal / total heavy metal) มากกว่า 70 % ยกเว้นแคดเมียม ซึ่งมีค่าประมาณ 40 % ดังนั้นรูปแบบที่สำคัญของโลหะที่มีการขนถ่ายจากแม่น้ำบางปะกงออกสู่อ่าวไทยจึงน่าจะอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา อำนวย. 2527. พฤติกรรมของธาตุปริมาณน้อยบางตัวในแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา. รายงานการสัมมนาการวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย ครั้งที่ 3. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ
- กรมควบคุมมลพิษ. 2538. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2538. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมเจ้าท่า. 2539. รายงานผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา (ตอนล่าง-ตอนกลาง) ทำจีนบางปะกง ป่าสัก และแม่กลอง. กรุงเทพฯ ฝ่ายสิ่งแวดล้อม กองวิชาการ กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม.
- คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด. 2538. โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและมาตรการป้องกันผลกระทบจากการพัฒนาโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดชลบุรี เสนอต่อสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ บริษัทคอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538. โครงการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำสายหลัก พ.ศ. 2535 – 2536 แม่น้ำบางปะกง เสนอต่อกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล.
- มนูดี หังสพฤกษ์ และศิริชัย ธรรมวานิช. 2529. พฤติกรรมของโลหะปริมาณน้อยในระหว่างการผลิตผลของน้ำที่ปากแม่น้ำบางปะกง. รายงานการสัมมนาวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 3 เล่ม 3 (หน้า 1-19). สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- สุวรรณ ภาณุตระกูล และไพฑูรย์มกกงไผ่. การสะสมโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอนจากแม่น้ำบางปะกง. รางกายวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา
- สุธรรม สิทธิชัยเกษม และ สมยศ สิทธิโชคชัย. 2527. คุณสมบัติของน้ำบริเวณปากแม่น้ำในอ่าวไทยตอนใน. รายงานการสัมมนาการวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย ครั้งที่ 3. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- Baeyens, W., B. van Eck, C. Lambert, R. Wollast, L. Goeyens. 1998. General description of the Scheldt estuary. *Hydrobiologia*. 366: 1-14.
- Boonphakdee, T., P. Sawangwong, T. Fujiwara. 1999. Freshwater discharge of the Bangpakong River flowing into the Gulf of Thailand. *La mer* 37: 103-109.

- Burton, J.D. M. Althaus, G.E. Millward, A.W. Morris, P.J. Statham, A.D. Tappin, A. Turner. 1993. Processes influencing the fate of trace metals in the North Sea. *Philos. Trans. R. Soc. London* 343A, 557-568.
- Comans, R. N.J., C.P.J. van Dijk. 1988. Role of complexation processes in Cd mobilization during estuarine mixing. *Nature*. 336: 151-154.
- Cenci, R. M., S. Barbero, P. Trincherini, S. Facchetti, J-M Martin. 1998. Trace metal behaviour in Mekong Delta. *Proceeding of the International Workshop on the Mekong Delta*.
- Day, J.W., C.A.S. Hall, W.M. Kemp, A. Yanez-Arancibia. 1989. *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons.
- Davies-Colley, R., P.O. Nelson, K.J. Williamson. 1984. Copper and Cadmium uptake by estuarine sedimentary phases. *Environ. Sci. Technol.* 18: 491-499.
- Duinker, J.C. R.F. Nolting, D. Michel. 1982. Effects of salinity, pH, redox conditions on the behaviour of Cd, Zn, Ni and Mn in the Scheldt estuary. *THALASSIA JUGOSLAVICA*. 18: 191-202.
- Duinker, J.C., R.F. Nolting. 1978. Mixing, removal and mobilization of trace metals in the Rhine Estuary. *Netherland Journal of Sea Research*. 12(2): 205-223.
- Frenet, M. 1984. The distribution of mercury, cadmium and lead between water and suspended matter in the loire estuary as a function of the hydrodynamic regime. *Water Research*. 15: 1343-1350.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt, K. Kremling. 1983. *Method of Seawater Analysis*. 2nd ed. Rev. and extended ed. Weinheim. Verlag Chemie of Germany.
- Huizenga, D. L. 1981. The Cobalt-APDC Coprecipitation technique for the preconcentration of trace metals sample. Rhode Island: Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island.
- Hungspreugs, M., S. Dharmvanij, W. Utoomprukporn, H.L. Windom. 1990. A comparative study of the trace metal fluxes of the BangPakong and the MaeKlong Rivers, Thailand. *The Science of the Total Environment* 97/98: 89-102.

- Le Gall, A.C., P.J. Statham, N.H. Morley, D.J. Hydes, C.H. Hunt. 1999. Processes influencing distributions and concentrations of Cd, Cu, Mn and Ni at the North West European shelf break. *Marine Chemistry*. 68: 97-115.
- Li, Y.H., L. Burkhardt, H. Teraoka. 1984. Desorption and coagulation of trace elements during estuarine mixing. *Geochemica et Cosmochemica Acta*. 48: 1879-1884.
- Loscher, B. M. 1999. Relationships among Ni, Cu, Zn and major nutrients in the Southern Ocean. *Marine Chemistry*. 67: 67-102.
- Martin, J-M., J. Jednacak, U. Pravidit. 1971. The physico-chemical aspects of trace element behaviour in estuarine environments. *THALASSIA JUGOSLAVICA*. 7: 619-637.
- Morel, F.M.M., J.G. Hering. 1993. Principles and applications of aquatic Chemistry. John Wiley & Sons. INC.
- Mantoura, R.F.C., A. Dickson, J.P. Riley. 1978. The complexation of metals with humic materials in Natural waters. *Estuarine and Coastal Marine Science*. 6: 387-408.
- Ouddane, B., E. Martin, A. Boughriet, J.C. Fischer, M. Wartel. 1997. Speciation of dissolved and particulate manganese in the Seine river estuary. *Marine Chemistry*. 58: 189-201.
- Paucot, H. and R. Wollast. 1997. Transport and transformation of trace metals in the Scheldt estuary. *Marine Chemistry*. 58: 229-244.
- Regnier, P., R. Wollast. 1993. Distribution of trace metals in suspended matter of the Scheldt estuary. *Marine Chemistry*. 43: 3-19.
- Salomon, W. and U. Forstner. 1984. Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. 349p.
- Sirinawin, W., D.R. Turner, S. Westerlund, P. Kanatharana. 1998. Trace metal study in the Outer Songkla Lake, Thale Sap Songkla, A southern Thai estuary. *Marine Chemistry*. 62: 175-183.
- Schoer, J. 1985. Iron-oxo-hydroxides and their significance to the behaviour of heavy metal in estuaries. *Environ. Technol. Let.* 6: 189-202.
- Sholkovitz, E.R. and D. Copland. 1981. The coagulation, solubility and adsorption properties of Fe, Mn, Cu, Ni, Cd, Co and humic acids. In a river water. *Geochemica et cosmochemica Acta*. 45: 181-189.

- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Res. Bd. Can. Bull. 167p.
- Tappin, A.D., G.E. Millward, P.J. Statham, J.D. Burton, A.W. Morris. 1995. Trace metal in the Central and Southern North Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 41: 275-323.
- Turner, A., M. Nimmo, K.A. Thuresson. 1998. Speciation and sorptive behaviour of nickel in an organic-rich estuary (Beaulieu, UK). *Marine Chemistry*. 63: 105-118.
- Valenta, P., E.K. Duursma, A.G.A. Merks, H. Rutzel., H.W. Nurnberg. 1986. Distribution of Cd, Pb and Cu between the dissolved and particulate phase in the Eastern Scheldt and Western Scheldt estuary. *The Science of the Total Environment*. 53: 41-76.
- van Breemen, N. 1976. Genesis and solution chemistry of acid sulfate soil in Thailand. *Agric. Res. Rep.* 848
- Windom, H., R. Smith. Jr., C. Rawlinson. 1988. Trace metal transport in a tropical Estuary. *Marine Chemistry*. 24: 293-305.
- Windom, H., J.Byrd, R. Smith Jr., M. Hungspreugs, S. Dharmvanij. 1991. Trace metal-nutrient relationships in estuaries. *Marine Chemistry*. 32: 177-194.
- Wattayakorn, G. 2000. Carbon, Nitrogen and Phosphorus fluxes in the Bangpakong River Estuary. In Smith et al. (eds.). *Estuarine systems of the South China Sea region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes*. LOICZ Reports & Studies No. 14 ii + 156 pages, LOICZ IPO. Texel, The Netherlands.
- Wollast, R. J.C. Duinker. 1982. General methodology and sampling strategy for studies on the behaviour of chemicals in estuaries. *THALASSIA JUGOSLAVICA*. 18: 471-491.
- Zwolsman, J.J.G., G.T.M. van Eck, 1999. Geochemistry of major element and trace metals in suspended matter of the Scheldt estuary. *Marine Chemistry*. 66: 91-111.